XXVII МНТК МАШИНОСТРОЕНИЕ И ТЕХНОСФЕРА XXI ВЕКА

2020

МАШИНОСТРОЕНИЕ И ТЕХНОСФЕРА XXI ВЕКА

Сборник трудов XXVII международной научно-технической конференции

2020 ДОНЕЦК

Министерство образования и науки ДНР
Министерство промышленности и торговли ДНР
Международный союз машиностроителей
Ассоциация технологов-машиностроителей России
Абхазский государственный университет
Брянский государственный технический университет
Воронежский государственный технический университет
Донбасский государственный технический университет
Донецкий национальный технический университет
Донской государственный технический университет
Казахский национальный исследовательский технический университет им. К.И. Сатпаева
Камчатский государственный технический университет
Луганский национальный университет им. В. Даля
Национальный политехнический университет Армении
Рыбинский государственный авиационный технический университет им. П.А. Соловьева
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого
Севастопольский государственный университет
Усинский филиал Ухтинского государственного технического университета
Научно-исследовательский центр по проблемам отраслевого машиноведения при Ташкентском государственном техническом университете им. А.Р. Беруни
СПТК им. маршала инж. войск А.В. Геловани, ООО «Горловский энергомеханический завод», АО «Феодосийский оптический завод», ОАО НИИ «Изотерм», ЧП «Технополис»

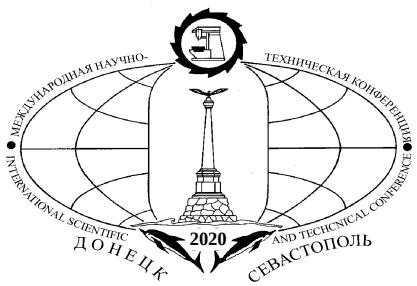
Посвящается 100-летнему юбилею ДОННТУ

МАШИНОСТРОЕНИЕ И ТЕХНОСФЕРА XXI ВЕКА

Сборник трудов

XXVII
МЕЖДУНАРОДНОЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ

14 - 20 сентября 2020 г. в городе Севастополе



Донецк-2020

ББК К5я54
УДК 621.01(06)

Машиностроение и техносфера XXI века // Сборник трудов XXVII международной научно-технической конференции в г. Севастополе 14-20 сентября 2020 г. – Донецк: ДонНТУ, 2020. – 460 с.

ISSN 2079-2670

В сборник включены материалы XXVII международной научно-технической конференции «Машиностроение и техносфера XXI века», отражающие научные и практические результаты в области обработки изделий прогрессивными методами, создания нетрадиционных технологий и оборудования. Представлены современные достижения и перспективные направления развития технологических систем, металлорежущего инструмента и оснастки. Освещены современные проблемы материаловедения в машиностроении. Рассмотрены вопросы механизации и автоматизации производственных процессов, управления качеством и диагностики технических систем. Приведены сведения об особенностях моделирования, экономических проблемах производства, вопросах инженерного образования и других актуальных проблемах техносферы.

Предназначен для научно-технических работников, ИТР и специалистов в области машиностроения и техносферы.

Сборник издается при содействии Международного союза машиностроителей.
Конференция проводится в рамках Международного форума «ТЕХНОСФЕРА - 2020»

Рекомендован к изданию Ученым Советом Донецкого национального технического университета (протокол № 2 от 26 июня 2020 г.)

Адрес международного организационного комитета:
ДНР, 283001, г. Донецк, ул. Артема 58, ДонНТУ
Тел.: +38 (062) 301-08-40, +38 (062) 301-08-05
Моб. тел. +38 (071) 3060879
E-mail: *mntk21@mail.ru*
http://konf-sev.donntu.org

© Автори статей, 2020 г.
© ДонНТУ, 2020 г.

ISSN 2079-2670

МЕЖДУНАРОДНЫЙ ПРОГРАММНЫЙ КОМИТЕТ КОНФЕРЕНЦИИ

Сопредседатели: Ректор ДонНТУ, к.т.н., профессор **Аноприенко А.Я.** (ДНР); зам. министра МОН ДНР, д.ф.-м.н., проф. **Варюхин В.Н.;** ректор ДонГТУ, к.э.н., доц. **Зинченко А.М.** (ЛНР)**;** ректор КамчатГТУ, д.соц.н., проф. **Левков С.А.** (Россия)**;** ректор ЛНУ им. В. Даля, д.т.н., профессор **Рябичев В.Д.** (ЛНР)**;** ректор БГТУ, д.т.н., проф. **Федонин О.Н.** (Россия).

Члены: зав. кафедрой КазНИТУ им. К.И. Сатпаева, к.т.н., проф. **Альпеисов А.Т.;** зам. директора НГМК **Ан В.Ф.;** нач. отдела ИМАШ РАН, д.т.н., проф. **Базров Б.М.;** директор ООО «ГЭМЗ» **Байчоров А.А.;** профессор ГИУА, д.т.н. **Баласанян Б.С.;** профессор ИМ и СС АН РУ, д.т.н. **Бахадиров Г.А.;** директор ММИ УрФУ, д.т.н., проф. **Блинков О.Г.;** профессор СевГУ, д.т.н. **Бохонский А.И.;** зав. кафедрой СевГУ, д.т.н., проф. **Братан С.М.;** директор ИГДГ ДонНТУ, д.т.н., проф. **Булгаков Ю.Ф.;** ген. директор АО «ФОЗ» **Буряк В.Ю.;** профессор ИТА ЮФУ, д.т.н. **Бутенко В.И.;** профессор Силезского технического университета, д.т.н. **Бухач А.;** профессор ТГУ, д.т.н. **Вайнер Л.Г.;** зав. кафедрой МГТУ им. Н.Э. Баумана, д.т.н., проф. **Васильев А.С.;** проректор ЛНУ им. В. Даля, д.т.н., проф. **Витренко В.А.;** профессор БГТУ, д.т.н. **Горленко О.А.;** зав. кафедрой ДонНТУ, д.т.н., профессор **Гусев В.В.;** профессор ОИФТПС ЯНЦ СО РАН, д.т.н. **Гусев Е.Л.;** секретарь Научно-технического союза машиностроения Болгарии **Дамянов Д.;** профессор КазАТУ, д.т.н **Данияров Н.А.**; проректор АГУ, д.т.н., проф. **Делба В.В.;** зав. кафедрой ЯТУ, д.т.н., проф. **Додун О.;** гл. н. сотр. Центрального института авиационного моторостроения, д.т.н., проф. **Дорофеев В.Л.;** зав. кафедрой ДонНУЭТ, д.т.н., проф. **Заплетников И.Н.;** вед. научн. сотр. ИМЕТ РАН, д.ф-м.н. **Ермишкин В.А.;** профессор Сирийского ТУ, д.т.н. **Избер Дж.**; профессор БВТА, д.т.н. **Керекеш Т.;** профессор УГТУ, д.т.н. **Киселев Е.С.;** зав. кафедрой КамчатГТУ, к.т.н., доц. **Костенко А.В.;** проф. Волгодонского филиала НИЯУ «МИФИ», д.т.н. **Кравченко П.Д.;** гл. научн. сотр. ОАО «НПО ЦКТИ», д.т.н. **Кругликов П.А.;** зав. кафедрой УГГУ, д.т.н., проф. **Лагунова Ю.А.;** профессор ДГТУ, д.т.н. **Лебедев В.А.;** профессор ЛТУ, д.т.н. **Ленник К.;** профессор Юнеско, д.т.н.h.c. **Либерман Я.Л.;** зав. кафедрой ТУМ, д.т.н. **Мазуру С.;** профессор МГТУ им. Н.Э. Баумана, д.т.н. **Малышева Г.В.;** профессор ТУМ, д.т.н. **Марин А.З.**; ректор ДГТУ, д.т.н., проф. **Месхи Б.Ч.;** председатель Международного союза машиностроителей, зав. кафедрой ДонНТУ, д.т.н., проф. **Михайлов А.Н.;** профессор ЯТУ, д.т.н. **Муску Г.;** поректор ДонНТУ, профессор **Навка И.П.;** инженер **Недашковский А.П.;** профессор ЯТУ, д.т.н. **Неделку Д.;** зав. кафедры РГАТУ им. П.А. Соловьева, д.т.н., проф. **Непомилуев В.В.;** профессор кафедры ТМ СевГУ, д.т.н. **Новоселов Ю.К.;** зам. директора ММИ УрФУ, д.т.н., проф. **Овчинникова В.А.;** профессор Портсмутского университета **Оливер Т.**; профессор Ясского технического университета, д.т.н. **Параскив Д.**; зав. кафедрой БГТУ, д.т.н., проф. **Петрешин Д.И.;** директор ФУГТУ в г. Усинске, к.п.н., доц. **Пичко Н.С.;** проректор ППИ, д.т.н., профессор **Плохов И.В.;** профессор КазНИТУ им. К.И. Сатпаева, д.т.н. **Поветкин В.В.;** директор ПИ СевГУ, д.т.н., проф. **Покинтелица Н.И.;** председатель НТО машиностроителей Болгарии, д.т.н., проф. **Попов Г.;** зав. кафедрой ТГУ, д.т.н., проф. **Прейс В.В.;** зав. кафедрой БГТУ, д.т.н., проф. **Прокофьев А.Н..;** профессор ЯТУ, д.т.н. **Прутяну О.В.;** зав. кафедрой СПбПУ, д.т.н., профессор **Радкевич М.М.;** профессор ОГУ им. И.И. Тургенева, д.т.н. **Савин Л.А.;** первый проректор ВГТУ, д.т.н., проф. **Сафонов С.В.;** директор ИТИС Политехники Любельской, д.т.н., проф. **Свиць А.**; декан ДонНТУ, к.т.н., доц. **Селивра С.А.;** декан РГАТУ им. П.А. Соловьева, д.т.н., проф. **Семенов А.Н.;** зав. кафедрой КубГАУим. И.Т. Трубилина, д.т.н., проф. **Серга Г.В.;** профессор ВГУ, д.т.н. **Скворцов А.И.;** зав. кафедрой ЯТУ,

д.т.н., профессор **Слэтиняну Л.;** лауреат премии Правительства РФ, профессор ВГТУ, д.т.н. **Смоленцев В.П.;** почетный работник ВО РФ, зав. кафедрой ВГТУ, д.т.н., проф. **Смоленцев Е.В.;** профессор БелГТУ, д.т.н. **Стрельников В.Н.;** засл. деятель науки и техники, почетный предс. Президиума Ассоциации технологов-машиностроителей России, д.т.н., проф. **Суслов А.Г.;** зав. кафедрой ДГТУ д.т.н., проф. **Тамаркин М.А.;** декан ТУМ, д.т.н., проф. **Тока А.**; профессор ГТУ, д.т.н. **Турманидзе Р.С.;** профессор Сызранского филиала СГТУ, д.т.н. **Усов В.П.;** профессор БГТУ, д.т.н. **Хандожко А.В.;** Президиум НАН Беларуси, профессор, д.т.н. **Хейфец М.Л.;** профессор НИУ «МЭИ», д.т.н. **Хроматов В.Е.;** профессор Азербайджанского ТУ **Шарифов З.З.;** зав. кафедрой Силезского технического университета, д.т.н., проф. **Швидер Ю.;** зав. кафедрой ТГУ, д.т.н., проф. **Ямников А.С**.

МЕЖДУНАРОДНЫЙ ОРГАНИЗАЦИОННЫЙ КОМИТЕТ КОНФЕРЕНЦИИ (редакционная коллегия)

Председатель – Председатель Международного союза машиностроителей, зав. кафедрой ТМ ДонНТУ, д.т.н., проф. **Михайлов А.Н.**

Заместитель председателя: доцент кафедры ТМ ДонНТУ, к.т.н. **Грубка Р.М.**

Ученый секретарь – доцент кафедры ТМ ДонНТУ, к.т.н. **Петряева И.А.**

Технический секретарь – ст. препод. кафедры ТМ ДонНТУ **Голубов Н.В.**

Члены: доктор Багдадского ТУ, к.т.н., доцент **Аль-Судани Т.Т.;** директор СПТК **Баранов Н.В.;** профессор кафедры ЮЗГУ, д.т.н. **Борзов Д.Б.;** доцент кафедры ТМ ДонНТУ, к.т.н. **Буленков Е.А.;** доктор Тунисского ТУ, к.т.н., доцент **Гитуни А.;** профессор кафедры ТМ ДонНТУ, к.т.н. **Горобец И.А.;** начальник ОВС ДонНТУ, к.т.н., доц. **Джура С.Г.;** зам. директора ОАО НИИ «Изотерм», к.т.н. **Добровольский Г.И.;** доцент ЮФУ, к.т.н. **Дуров Д.С.;** доцент кафедры ТМ ДонНТУ, к.т.н. **Ивченко Т.Г.;** директор колледжа ДААТ **Калинин А.В.;** доцент кафедры БГТУ, к.т.н. **Карпушкин В.А.;** доцент кафедры ТМ ДонНТУ, к.т.н. **Коваленко В.И;** проректор АГЗ МЧС ДНР, соискатель кафедры ТМ ДонНТУ **Колодяжный А.А.;** зав. кафедрой КамчатГТУ, к.т.н., доц. **Костенко А.В.;** аспирант кафедры ТМ ДонНТУ **Кравчук Ю.А.;** профессор СПбПУ, д.т.н. **Кудрявцев В.Н.;** доцент кафедры ТМ ДонНТУ, к.т.н. **Лахин А.М.;** доцент кафедры СМ ДонНТУ, к.т.н. **Лукичев А.В.;** инженер кафедры ТМ ДонНТУ **Макеева О.А.;** доцент кафедры ГЗТиЛ ДонНТУ, к.т.н. **Матвиенко С.А.;** аспирант кафедры ТМ ДонНТУ **Михайлов В.А.;** ст. преп. кафедры МД АГЗ МЧС ДНР, к.т.н. **Михайлов Д.А.;** инженер кафедры ТМ ДонНТУ **Мищук П.А.;** доцент Усинского филиала УГТУ, к.т.н. **Пичко А.П.;** доцент кафедры ТУМ **Рушика И.Д.;** ст. преподаватель ДААТ **Стрельник Ю.Н.;** доцент ДонГТУ, к.т.н. **Таровик А.Б.;** доцент кафедры ТМ, к.т.н. ДонНТУ **Чернышев Е.А.;** зав. кафедры ВиОП ДАВД МВД ДНР, соискатель кафедры ТМ ДонНТУ **Хавлин Т.В.;** доцент кафедры ЛА ТТИ ЮФУ, к.т.н. **Шаповалов Р.Г.;** доцент АГЗ МЧС ДНР, к.т.н. **Шейко Е.А.;** доцент СевГУ, к.т.н. **Шрон Л.Б.**

Уважаемые дамы и господа, дорогие друзья и коллеги!

Особенности научно-технического прогресса в условиях продолжающейся пандемии коронавируса, всеобщего экономического и политического кризиса постоянно изменяют сложившийся мир техники и технологий. При этом происходящие изменения в техносфере и машиностроении настолько глубоки и значительны, что постоянно требуют всестороннего изучения и осмысления происходящих процессов, комплексного анализа всех особенностей и явлений. Поэтому проведение этой встречи обусловлено необходимостью получения ее участниками современной информации о последних достижениях науки и техники, а также потребностью ознакомления с основными изменениями, происходящими в техносфере.

В связи с этим, на этой встрече предусматривается особое внимание уделить вопросам создания и применения прогрессивных, специальных и нетрадиционных технологий. Нам необходимо рассмотреть насущные проблемы техники, связанные с механизацией и автоматизацией производственных процессов, а также с созданием прогрессивного оборудования. Здесь будут затронуты вопросы проектирования и применения прогрессивных инструментов, управления качеством промышленной продукцией, сертификации, метрологии, диагностики и эксплуатации технологических систем, создания информационных и наукоемких технологий. Приоритетными направлениями на нашей конференции будут также вопросы, нацеленные на развитие процесса инженерного образования и интеграции в Европейскую систему университетского образования. А также множество других важнейших вопросов науки и техники нам предстоит обсудить, а именно связанных с развитием машиноведения, инженерии материалов, нанесения нетрадиционных покрытий, моделирования, расчетов сложных технических систем, специальной техники и технологий техносферы, экологии и экономики. Этих основных и других вопросов техносферы планируется коснуться участниками конференции здесь на нашей встрече.

Можно отметить, что опыт проведения предыдущих конференций убедительно показывает на важность и большую потребность личных контактов ученых, ведущих специалистов и представителей предприятий. Они позволяют плодотворно развивать живое творческое сотрудничество между учеными и специалистами предприятий и организаций. А это в перспективе будет способствовать повышению научного потенциала ученых и производства.

На этой встрече планируется активизировать процесс обмена и получения современной информации научно-технического характера, развития сотрудничества и личных творческих связей. Поэтому проведение этой конференции, на наш взгляд, позволит наметить основные ориентиры и определить вектор прогрессивного развития машиностроения и техносферы, а также подвести итого развития новой техники и технологий для выработки общих рекомендаций по их ориентированному и целенаправленному развитию в условиях мирового кризиса.

Особенно необходимо подчеркнуть то, что одновременно с работой этой конференции состоится очередной уже XXI съезд членов Международного союза машиностроителей. Основной и важнейшей задачей работы этой международной общественной организации является консолидация ученых, специалистов и руководителей промышленных предприятий для содействия процессу развития машиностроения и техносферы в условиях глобализации мировых отношений. Совместное проведение этих мероприятий будет способствовать активизации процессов развития техносферы и международного сотрудничества.

Организационный комитет конференции убежден, что эти встречи традиционно пройдут творчески и плодотворно, будут способствовать консолидации ученых и специалистов различных стран, широкому обмену информации научно-технической характера, а также дадут необходимый творческий импульс для дальнейшего развития машиностроения и техносферы.

С наилучшими пожеланиями

Председатель Международного организационного
комитета конференции **Михайлов А.Н.**

ФАКЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ СО СБРОСОМ ГАЗА

Абрахимов И.Р., Степанова Е.А.
(КамчатГТУ, г. Петропавловск-Камчатский, Россия)
Тел. +7(914)6221790; e-mail: len_sta@rambler.ru; mirid@autorambler.ru

Abstract: *the issue of the main task of flare systems and their components is touched upon. Types of flare systems with gas discharge are presented and state standards for the design of flare systems are specified.*
Key words: *hydrocarbons, gas, exhaust gases, separator (gas tank), duty burner, main burner, flare head, open-type flare system, closed-type flare system, remote ignition devices.*

Факельные установки (рис. 1) – это системы, используемые на нефти - газодобывающих и на предприятиях, чей род деятельности переработка нефтепродуктов для сжигания без выделения опасных соединений горючих и токсичных газов или паров в результате их периодического, аварийного или постоянного сброса. Ключевой целью установки факельных систем на предприятиях - это сведение к минимуму экологически опасных соединений в атмосферу благодаря их сжиганию.

В результате работы большинства технологических машин образуются отработанные газы, которые запрещено сбрасывать в окружающую среду из-за высокого содержания токсичных химических веществ, что вредно сказывается на экологии [1]. Чтобы процесс утилизации проходил безопасно, используются факельные установки, в которых совершается преобразование опасных для экологии химических элементов на более простые безопасные соединения путем бездымного сжигания паров, отработанных и токсичных газов.

Факельные системы могут быть общими или отдельными: общие факельные системы производят сгорание газов от сброса всех технологических установок на предприятии; отдельные факельные системы обеспечивают сжигание сбросных газов от конкретных технологических установок.

Рис. 1. Факельная установка

По трубопроводу подается отработанные газы и пары, сперва попадают в газгольдер ФС и конденсатосборник, где убираются механические примеси, капельная жидкость и другие взвешенные частицы. После очищенный газ подается в ствол факела, на окончание которого установлен оголовок с горелками, в факельном оголовке происходит сжигание газов до более безопасных соединений.

Для беспрерывного розжига следует установить дежурные горелки, а так же трубопроводами через которые будет подаваться топливный газ и воздух [2]. Количество горелок высчитывается, беря в расчет радиус оголовка, скорость, объем потока и необходимость обеспечения непогасаемости пламени.

Основными видами по своей конструкции и принципу действия выделяют: факельные установки закрытого типа; факельные установки открытого типа.

Каждая факельная установка рассчитывается индивидуально исходя из требуемых задач и условий эксплуатации. Например, газгольдер и конденсатосборник могут быть сконструированы с подогревателем или теплоизоляцией, чтобы предотвратить попада-

ние конденсата при невысокой температуре окружающей среды. Это можно применить и к трубопроводам, которые подают топливный газ к дежурным горелкам.

На проектирование факельной установки влияет высота и диаметр ствола. Он может быть самонесущим или быть установленным на растяжках. Для выбросов высокого и низкого давления следует поставить ствол с разделением потока, сдвоенный.

Факельная установка состоит из следующих элементов: ствол; оголовок; трубопроводы подачи топливного и горючего газа низкого и/или высокого давления; основные и дежурные горелки; газгольдер для отделения механических примесей и капельной жидкости; насосы; устройство отвода конденсата; приборы подачи пара для тяжелых газов; затворы и краны; огнепреградители; приборы контроля и автоматизации розжига и поддержания пламени; дистанционные запальные устройства, устройства розжига; пробоотборное оборудование; средства сигнализации и пожаротушения; лестницы и площадки обслуживания с ограждениями; контрольно-измерительные приборы для регистрации данных о давлении, температуре.

Для изготовления используются различные марки стали исходя из их стойкости к высоким температуры при сжигании газов. К тому же при выборе материала следует учесть содержание химических элементов в сгораемых продуктов: сталь должна справляться с нагрузками высокой температуры и агрессивной химической среды.

В зависимости от ветровых нагрузок, размера ствола, плотности потока и сейсмоактивности района высчитывается толщина стенки и массу конструкции.

Оголовок подвергается самые высокие температурные нагрузки, из-за этого трубопроводы производятся из стальных бесшовных труб (рис. 2) [4].

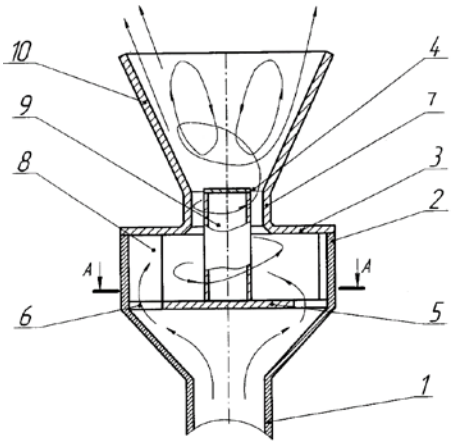


Рис. 2. Факельный оголовок:
1 – цилиндрическая труба; 2 – расширение; 3 – уступ; 4 – выход; 5 – поперечная перегородка; 6 – окна саблевидные; 7 – вертикальные перегородки; 8 – цилиндрические секторы; 9 – центральное тело; 10 – конический раструб

Готовая конструкция, размерные величины и состав системы факела создается для каждого производства отдельно в зависимости от производительности (максимального и минимального в единицу времени), температуры, давления, скорости, плотности, условий работы, химического состава, а также в соответствии с государственными нормами.

Государственные нормы для конструирования факельной системы:

–ГОСТ Р 53681-2009 "Детали факельных устройств для общих работ на нефтеперерабатывающих предприятиях. Общие технические требования"

–ВНТП 3-85 "Нормы технологического проектирования объектов сбора, транспорта, подготовки нефти, газа и воды нефтяных месторождений"

В соответствии с государственными нормами к факельным системам предъявляются следующие требования:

–содержание кислорода в газах и парах не должно превышать 50%;

–содержание кислорода в быстрогорючих газах (водорода, ацетилена, этилена и окиси углерода) не должно превышать 2%;

–температура сбрасываемых газов и паров на выходе из факела не должна превышать +200ºС и быть ниже -30ºС;

–температура сбрасываемых газов и паров на входе в газгольдер не должна быть более +60ºС;

Газы и пары, идущие для сброса и сжигания, попадают через трубопровод в газгольдер, где происходит сепарация газа (рис. 3, 4). После пары протекают через факельный ствол в факельный оголовок. В оголовке отработавший газ соединяется с кислородом из окружающей среды и сгорает с помощью многоуровневых горелок.

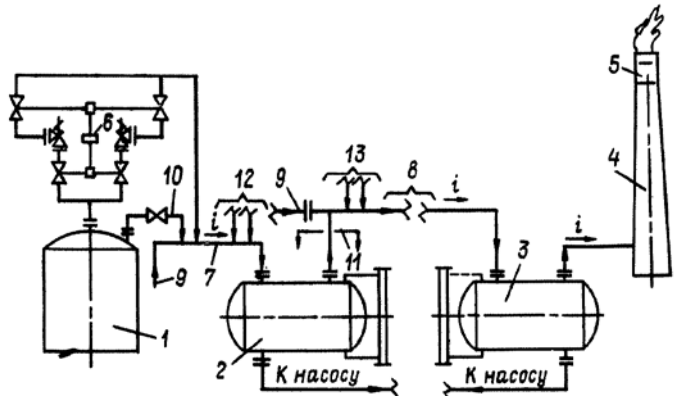


Рис. 3. Принципиальная схема сбросов газов (паров) в факельную систему от предохранительных клапанов:
1 – защищаемый аппарат; 2 – цеховой сепаратор; 3 – факельный сепаратор; – факельный ствол; 5 – газовый затвор; 6 – блокировочное устройство «закрыто–открыто»; 7 – цеховой коллектор; 8 – факельный коллектор; 9 – продувочный газ; 10 – линия ручного сброса; 11 – граница цеха; 12 – сброс газов от ПК на др. аппаратах цеха; 13 – сброс газов от др. цехов производства

Весь процесс, возможно, автоматизировать полностью с выводом управления на диспетчерский пункт. Автоматизированная система розжига и контроля пламени, установленная в факельном оголовке, обеспечит бесперебойную и безаварийную работу факельной установки.

В технологических схемах факельного хозяйства, запроектированных в 1960-1970 гг., перед компрессорами устанавливались мокрые газгольдеры (сепараторы) для создания запаса газа, обеспечивающие стабильную и исправную работу компрессоров. После стали использовать схему без использования мокрых сепараторов. Постоянная работа компрессоров обеспечивается в случае недостатка газа перепуском части газа из линии нагнетания в линию всасывания и за счет регулирования производительности компрессоров.

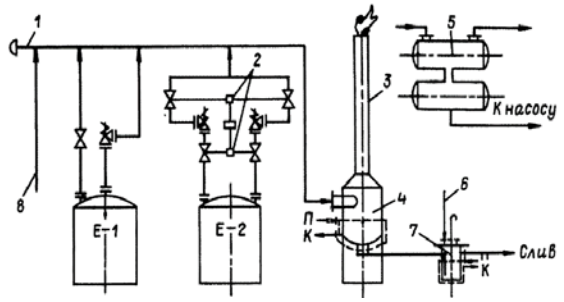


Рис. 4. Принципиальная схема сброса газов (паров) в факельную систему с постоянным отводом конденсата из сепаратора через гидрозатвор: 1 – факельный коллектор; 2 – блокировочное устройство; 3 – факельный ствол; 4 – сепаратор (1 вариант); 5 – сепаратор (2 вариант); 6 подача затворной жидкости; 7 – гидрозатвор; 8 – продувочный газ

По некоторым отраслевым нормам факельные установки рекомендуются устанавливать на расстоянии не менее 500 м. от сырьевых складов сжиженных газов и не менее 100 м от других зданий, сооружений, а также железнодорожных путей и шоссейных дорог общего пользования.

При таких требованиях длин магистральной линии зачастую превышает 100м, и практически не представляется возможным выдержать уклон трубопровода, исключающий образование пониженных участков («мешков»), в которых накапливается жидкость.

Газовые горелки –устройства генерирующее тепло, которые играют роль преобразования химической энергии газа в тепловую. Разделение горелок идет по способу смешения газа с воздухом. Они подразделяются на: горелки внутреннего смешения (инжекционные) и горелки внешнего смешения (диффузионные).

Диффузионные горелки (рис. 5). Разделяют диффузионные горелки по способу подачи воздуха: 1)происходит естественная подача воздуха из атмосферы (естественная); 2) подача воздуха осуществлена с помощью вентилятора (принудительная). В диффузионных горелках газ перемешивается с воздухом в камере сгорания благодаря диффузии, из-за чего и эти горелки получили такое название.

Газ, поступающий из сопла горелки, образует область низкого давления и благотворно влияет на поступление воздуха из атмосферы. Строение пламени по своей природе является конусом в виде растянутого факела. перемешивание паров с воздухом происходит на поверхности факела, а внутри факела находится газ, он не участвует в процессе горения. Из-за чего получаем неполное сгорания газа, выделяется меньше тепла и больше вредных веществ. Длинный факел требует четко выверенной высоты камеры сгорания. Из-за этого диффузионные горелки практические не применяются.

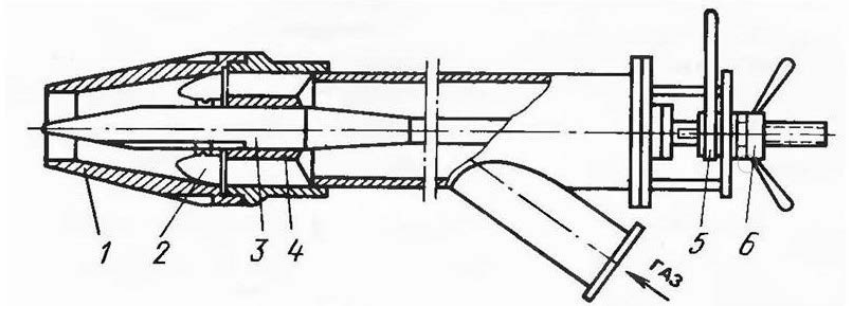


Рис. 5. Диффузионная горелка:
1 – сопло; 2 – завихритель; 3 – дроссель; 4 – направляющие;
5 – перемещение завихрителя; 6 – перемещение дросселя

Инжекционные горелки работают с высоким КПД как при изменении давления газа, так и при регулировании теплового режима. Объем подающегося в начале воздуха зависит от давления газа, поступающего к соплу, к примеру, когда давление газа повышается, то объем первичного воздуха растет, и оно может быть равным тому показателю которое обеспечит полное сгорание топлива и подвод вторичного воздуха не понадобится. Все это можно реализовать в беспламенных инжекционных горелках (рис. 6).

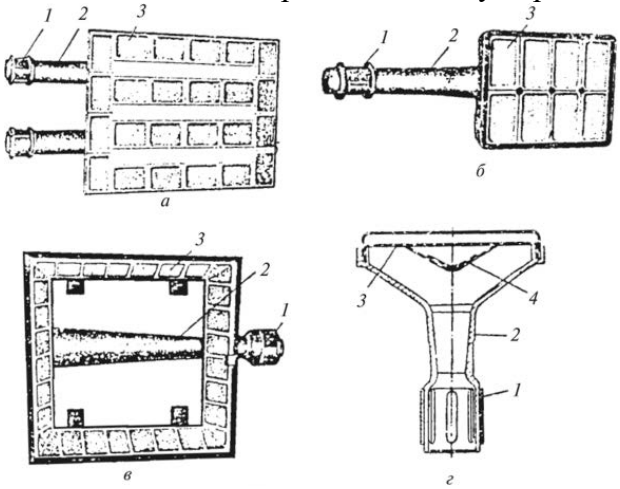


Рис. 6 Газовые беспламенные инжекционные горелки: а – блок, состоящий из двух горелок для закрытой конфорки; б – горелка для открытой конфорки; в – горелка верхняя жарочного шкафа; г – конфорочная горелка для бытовых плит; 1 – регулятор воздуха; 2 – смеситель; 3 – насадка; 4 – стабилизатор

Список литературы: 1. ГК «Газовик». Поставщик промышленного оборудования [Электронный ресурс]. – URL: https://gazovik-lpg.ru/cat/fakelnye_sistemy/ (дата обращения 12.11.2019). **2.** Завод САРРЗ – надежный поставщик оборудования [Электронный ресурс]. – URL: https://sarrz.ru/produkciya/separatory_otstojniki/fakelnaja_ustanovka.html (дата обращения 12.11.2019). **3.** Факельные установки. Монография. – Казань: КГТУ, 2010. – 117 с. **4.** Единый депозитарий результатов интеллектуальной деятельности [Электронный ресурс]. – URL: https://edrid.ru/rid/217.015.a690.html (дата обращения 12.11.2019).

ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАЗМЕРНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПЫЛИ НА ОСНОВЕ ИНТЕГРАЛЬНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ

Азимова Н.Н., Ашихмин Д.В., Ладоша Е.Н., Цымбалова В.М., Яценко О.В.
(ДГТУ, г. Ростов-на-Дону, Россия)
Тел: +7 (951) 8475165; E-mail: oleg_v_yatcenko@mail.ru

Abstract: *A mathematical analysis of dust size distribution with respect to metal cutting residual is performed. It is found that dust investigated obeys the uniparametric exponential distribution. Regarding that in cyclone projecting the logarithmically normal distributional is used related numerical parameters are estimated as well. The main error source in size distribution determination is shown.*
Key words: *process dust, exponential distribution, cyclone, dimensional mass parameters.*

Пыль, образующаяся при механической обработке твердых металлов и сплавов, наносит ущерб здоровью человека, загрязняет окружающую среду, ухудшает качество обработки. Чтобы исключить такие негативные эффекты используют циклоны – устройства, предназначенные для захвата пыли воздушным потоком и последующего удаления ее из струи в накопитель. Эффективность циклонов достигается предварительным аэродинамическим расчетом, цель которого определить такие параметры устройства, при которых гарантированно улавливаются содержащиеся в потоке твердые частицы. Так как улавливание частиц обеспечивается конкуренцией инерционных и аэродинамических сил, соответствующие физические критерии составляют основу расчета циклонов [1]. Размерные и массовые характеристики улавливаемых частиц служат основой расчетных критериев. Вследствие неоднородности производственной пыли ее геометрические и соответствующие размерные характеристики имеют статистическую природу, что выдвигает жесткие требования к корректности их осреднения при расчетах циклонов. Следовательно, достоверные научные сведения о размерных и массовых параметрах пыли при различных видах механической обработки металлов крайне актуальны для рациональной организации пылеулавливания циклонами.

Целью данного исследования является разработка математических методов корректного определения размерно-массовых параметров производственной пыли, образующейся в различных технологических процессах. Практически полученные результаты позволяют анализировать мелкодисперсные пылевые отходы различных производств.

На всякую пылевую частицу с характерным размером x [мкм] действует сила земного тяготения или иная инерционной природы, которая пропорциональна массе частицы, т.е. $\rho \cdot x^3$, где ρ [кг/м^3] – плотность образующего материала. Следовательно, знание инерционных свойств пыли сводится к знанию ее и характерного размера. Величина аэродинамической силы, действующей на такую частицу со стороны потока, пропорциональна квадрату ее характерного размера x^2 и не зависит от плотности. Фигурирующее в критерии эффективности циклона отношение этих сил соответственно пропорционально $\rho \cdot x$. Однако здесь следует учесть два важных обстоятельства: во-первых, пылевые частицы существенно отличаются по размерам и, во-вторых, форма каждой пылинки уникальна и далека от используемых эталонов (сфера, куб и др.). Эти особенности выдвигают весьма жесткие требования к процедуре двойного осреднения величины, названной выше *характерным размером* пылевой частицы – по размеру и форме. Очевидно, методика усредняющая размер пылинок, носит целевой характер: в нашем случае расчет эффективности циклонов.

Впервые проблему параметрического осреднения полидисперсных сред систематически исследовал *Заутер* [2-3]. Основные результаты его работ сводятся к следу-

ющему. Для различных приложений важны специфически осредненные средние размеры частиц из неоднородной совокупности. Поскольку средний размер представляет собой некоторую величину, выражаемую долями метра, очевидным способом размерного осреднения ансамбля частиц с функцией распределения $F(x)$ и соответственно плотностью вероятности $P(x) = dF(x)/dx$ является следующий:

$$<x_{ij}> \equiv D_{ij} = [\int P(x)\, x^i\, dx / \int P(x)\, x^j\, dx\,]^{1/(i-j)} \quad . \qquad (1)$$

Формула (1) подразумевает, что все пылевые частицы характеризуются единственным размером, т.е. имеют форму шара. Величину x_{ij} называют заутеровским диаметром (чаще всего под заутеровским диаметром понимается величина D_{32}). Если же форма частиц существенно не правильна и характеризуется двумя или темя параметрами, в рассмотрение вводят также коэффициент формы. Физический смысл и практическое применение различных заутеровских диаметров приведены в табл. 1.

Таблица 1. Обозначение, приложение и методы определения заутеровских диаметров

Символ	*Наименование*	*Приложение*	*Метод определения*
D_{10}	Линейный или арифметический – *CMD*	Испарение жидкостей	Микроскопия, лазерная дифракция, акустическая дифракция
D_{20}	Поверхностный	Абсорбция	Электронные системы обработки изображения в микроскопии
D_{30}	Объемный	Гидрология	Электрозонной чувствительности (Electrozone sensing by Coulter gauge – Ref. US Patent 3557352)
D_{21}	Удельно-поверхностный	Адсорбция	Электронные системы обработки изображения в микроскопии
D_{31}	Удельно-объемный	Испарение жидкостей, молекулярная диффузия	Динамическая микроскопия
D_{32}	Основной заутеровский (средний по поверхности) – *SMD*	Оценка эффективности процессов, массоперенос, реакции	Седиментация (осаждение)
D_{43}	Дебруковский (средний по объему/массе)	Равновесное горение	Лазерной дифракции (*LALLS* – low angle laser scattering)

Физический анализ абразивно-металлической пыли осуществлялся при помощи лабораторно-измерительного комплекса *Fritsch Analysette 22 Compact*, использующего метод *LALLS – low angle laser light scattering* [4]. Программное обеспечение прибора выдает результаты в графической и обработанной цифровой форме (см. рис.).

Необходимо отметить следующее: существенными недостатками программной части измерительного комплекса являются отсутствие детальных сведений об алгоритмах преобразования измеряемых величин и характере выводимых данных, а также отсутствие документации касательно данных, отображаемых в форме графиков и неизбежные сопутствующие погрешности. Однако детальный анализ позволяет заключить, что фактически на график выводится зависимость величины $P(x_k)\, dx_k$ от x_k, причем разбиение частиц на размерные группы шириной dx_k – не является равномерным.

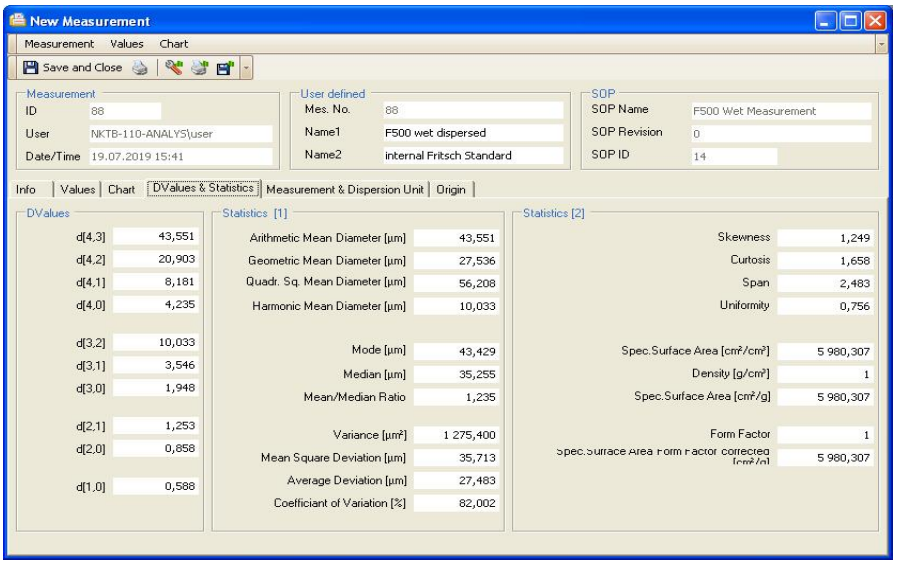


Рис. 1. Интерфейсное окно лабораторно-измерительного комплекса *Fritsch Analysette 22 Compact* с результатами фракционного анализа технологической пыли

Фигурирующие на рис. интегральные показатели распределения рассчитываются по формулам, сведенным в табл. 2.

Таблица 2. Интегральные показатели распределения пылевых частиц по размеру

Показатель	Связь с дифференциальной функцией распределения
Мода, мкм	Mode: $d/dx\, P(x = \text{Mode}) = 0$
Медиана, мкм	Med: $F(\text{Med}) = 1/2$
Среднее/ Медиана	$\int P(x)\cdot x\, dx$ / Med
СКО σ, мкм	$[\int P(x)\cdot(x - < x >)^2\, dx\,]^{1/2}$, где $< x > = \int P(x)\cdot x\, dx$
СМО $\lvert\sigma\rvert$, мкм	$\int P(x)\cdot\lvert x - < x >\rvert\, dx$, где $< x > = \int P(x)\cdot x\, dx$
QSMD, мкм	$[\int P(x)\cdot x^2\, dx\,]^{1/2}$
GMD, мкм	$\exp[\int P(x)\cdot \ln x\, dx\,]$
HMD, мкм	$1/[\int P(x)/x\, dx\,]$
Асимметрия	$[\int P(x)\cdot(x - < x >)^3\, dx\,] / [\int P(x)\cdot(x - < x >)^2\, dx\,]^{3/2}$
Эксцесс	$[\int P(x)\cdot(x - < x >)^4\, dx\,] / [\int P(x)\cdot(x - < x >)^2\, dx\,]^2$

На основании графического образа функции распределения можно предположить ее экспоненциальность. С теоретической точки зрения интересен следующий результат, полученный авторами. Для экспоненциального распределения частиц по размерам интегрирование с надлежащими весами позволяет получить явные выражения для всех десяти заутеровских диаметров. Здесь, однако, важно учесть, что в силу расходимости соответствующих несобственных интегралов пределы интегрирования следует брать не от нуля до бесконечности, а в соответствии с границами размерного разрешения измерительного прибора. Кроме того, эти границы удобно масштабировать, выражать в долях масштабной величины D. Если нижний предел интегрирования обозначить как εD, а верхний как $N D$ ($0 < \varepsilon < 1,\ N > 1$), заутеровские диаметры вычисляются как:

$$D_{10} = 2\,\varepsilon\, D\,,$$
$$D_{20} = [2\ln(N/\varepsilon)]^{1/2}\,\varepsilon\, D\,, \quad D_{21} = \ln(N/\varepsilon)\,\varepsilon\, D\,,$$
$$D_{30} = (2\,\varepsilon^2)^{1/3}\, D\,, \quad D_{31} = \varepsilon^{1/2}\, D\,, \quad D_{32} = \ln(N/\varepsilon)^{-1}\, D\,, \qquad (2)$$

$$D_{40} = (2\,\varepsilon^2)^{1/4}\,D\,,\quad D_{41} = \varepsilon^{1/3}\,D\,,\quad D_{42} = \ln(N/\varepsilon)^{-1/2}\,D\,,\quad D_{43} = D\,.$$

Решая переопределенную систему (2) относительно ε, N и D, получаем следующие значения $N\,D \approx 43.34$ мкм, $\varepsilon\,D \approx 0.29$ мкм и $N\,D \approx 186$ мкм, которые хорошо согласуются как с ранее вычисленным размерным параметром пыли, так и с паспортными данными прибора-анализатора. Особо отметим, что погрешность такого способа инициализации экспоненциальной модели характеризуется корреляцией расчетных и фактических значений D_{ij} на уровне 0.999997 и среднеквадратичной относительной погрешностью около 0.7 %.

Кроме описанной техники восстановления параметров распределения пыли по размерам, авторы использовали следующие варианты определения величины D: 1) непосредственной обработкой графической зависимости от x, 2) обработкой графической зависимости от $\lg x$, 3) на основании численно определяемых величин D_{ij} и 4) на основании прочих интегральных показателей (см. табл. 2). Оценить согласованность всех способов и результатов идентификации модели в рамках гипотезы об экспоненциальном распределении частиц по размерам $P(x, \alpha) = P(x, D) = 1/D \cdot e^{-x/D}$ позволяют данные табл. 3.

Таблица 3. Результаты идентификации модели на основе данных, выдаваемых прибором Fritsch Analysette 22 Compact, и степень согласия результирующей модели и исходных табличных значений

Параметр	По данным оцифровки $P(x, \alpha)\cdot x^3 dx$ в зависимости от x	По данным оцифровки $P(x, \alpha)\cdot x^3 d(\lg x)$ в зависимости от $\lg x$	На основе величин D_{ij} численно	На основе прочих интегральных параметров численно	На основе величин D_{ij} аналитически
D, мкм	71.8	47.13	41.8	39.9	43.3
Относит. погрешность	0.645	0.28	0.78	0.093	0.0069
Корреляция	0.626	0.842	0.996	0.992	0.999997

Как видно из представленных в табл. 3 данных, наиболее надежным способом идентификации модели $P(x, D)$ по выводимой прибором-анализатором информации является аналитическое решение задачи, которая для экспоненциальной модели $P(x, D) = 1/D \cdot e^{-x/D}$ сводится к переопределенной системе алгебраических уравнений (13).

Результаты выполненных авторами исследований сводятся к следующему:

– прибор *Fritsch Analysette 22 Compact* не является оптимальным для исследования фракционного состава пыли, поскольку не выводит данные измерений в первичной числовой форме;

– рациональным способом извлечения достоверных сведений из данного прибора представляется инициализация вероятных модельных распределений на основе выводимых (см. рис.) интегральных показателей;

– для описания размерного распределения пылевых частиц по имеющимся экспериментальным данным хорошо подходит экспоненциальное распределение частиц по размерам $P(x) = 1/43.33 \cdot e^{-x/43.3}$.

Список литературы: 1. М.Г. Зиганшин Проектирование аппаратов пылегазоочистки. – М.: Экопресс – 3М, 1998. –505 с. **2.** J. Sauter Grassenbestimmung von Brennstoffteilchen // *Forschungsarbeiten auf dem Gebiete des Ingenieurwesens*. – 1926. – Heft 279. **3.** J. Sauter Untersuchung der von Spritzvergasern gelieten Zerstobung // *Forschungsarbeiten auf dem Gebiete des Ingenieurwesens*. – 1928. – Heft 312. **4.** W. Kaye, J.B. McDaniel Low-Angle Laser Light Scattering – Rayleigh Factors and Depolarization Ratios // Applied Optics**.** – 1974. – V. 13, Issue 8. – P. 1934-1937.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ СИЛЫ РЕЗАНИЯ, ВОЗНИКАЮЩЕЙ В ПРОЦЕССЕ ШЛИФОВАНИЯ КРУГАМИ РАЗЛИЧНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК

Акинцева А.В. *(Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск, Россия)*
Email: akintsevaav@susu.ru

Abstract: *Force model considering kinematics and features of the internal grinding is developed. It also sets interrelations between the cutting force, cutting modes and other technological factors that have a significant impact on its value, including the wheel characteristic through the introduced concept «ratio of the wheel blunting». Ratio of the wheel blunting is a measure of the wheel grains blunting which is equal to relation of the total area of the blunting areas of all wheel grains located on its entire surface to the geometric area of the entire working surface of the wheel, i.e. value η determines the relative base surface of the wheel on the blunting areas of the wheel grains. Developed cutting force model will further provide a basis of metal removal model for the internal grinding, which in turn will allow realizing the optimization of internal grinding cycles, providing stability of the accuracy and quality of the treated surface under variable technological conditions. This article presents an experimental confirmation of the mathematical model of interrelation between the cutting force and parameters of the wheel characteristic through a complex parameter of ratio of the wheel blunting.*
Key words: *internal grinding, grinding wheel, cutting force, ratio of the wheel blunting.*

Характеристика абразивного круга является важнейшим технологическим фактором, влияющим на величину силы резания, а, следовательно, и на качество обрабатываемой поверхности детали при внутреннем шлифовании. Однако аналитическая взаимосвязь параметров характеристики круга с силой резания, режимами резания и качеством обрабатываемой поверхности до сих пор не установлена в полной мере, а именно: нет широкодиапазонных математических моделей для условий обработки в нормативном пространстве всех сочетаний марок сталей, параметров характеристики круга, параметров качества обрабатываемой поверхности, диаметров и геометрии зоны контакта круга с деталью, параметров станков, режимов резания, наладок и др. Поэтому в автоматизированном машиностроении отсутствуют методики автоматического проектирования оптимальных циклов режимов резания с учетом параметров кругов различных характеристик. Для решения этой проблемы необходимо разработать и экспериментально проверить математическую модель силы резания, содержащую параметр, комплексно учитывающий характеристику круга.

Принимая за основу модели взаимодействия абразивного зерна с заготовкой, разработанную в [1] и суммируя силы резания единичных зерен в зоне резания круга с заготовкой [2], мы получили математическую модель силы резания для процесса внутреннего шлифовании, более подробно с которой можно ознакомиться в источнике [3]. В данной статье нам понадобится только радиальная составляющая силы резания (P_y, Н):

$$P_Y = M_1 S_\Phi + M_2 \sqrt{S_\Phi}\,, \qquad (1)$$

где S_ϕ – фактическая радиальная подача, мм/ход; M_1 и M_2 – коэффициенты, значения которых можно найти по формулам:

$$M_1 = \frac{1{,}86\sigma_i \pi d V_{Soc}}{\sqrt{\left(V_{GW} + V_W\right)^2 + V_{Soc}^2}}\,, \qquad (2)$$

$$M_2 = \frac{\sigma_i \eta T}{3}\sqrt{\frac{dD}{d-D}}, \quad (3)$$

в которых V_{soc} – скорость осевой подачи, мм/мин; V_1 – скорость вращения детали, м/мин; V_2 – скорость вращения круга, м/сек; σ_i – среднее значение интенсивности напряжений, Н/мм^2; d – диаметр заготовки, мм; D – диаметр круга, мм; T – общая высота шлифовального круга, мм; η – степень затупления круга.

Для учета колебаний силы резания в процессе обработки необходимо учесть затупление абразивных зерен круга в процессе шлифования. Поэтому в качестве меры затупления зерен круга примем параметр, который назовем «степень затупления круга» и в дальнейшем будем обозначать через переменную η. Степень затупления шлифовального круга η равна отношению суммарной площади площадок затупления всех зерен круга, находящихся на его поверхности, к геометрической площади всей рабочей поверхности круга, т.е. величина η определяет относительную опорную поверхность круга по площадкам затупления зерен круга.

Отметим, что полученная силовая модель [3] учитывает кинематику и особенности процесса внутреннего шлифования и устанавливает взаимосвязь между всеми основными технологическими параметрами, оказывающими влияние на процесс съема металла (режимами резания, характеристикой шлифовального круга, геометрическими параметрами зоны контакта круга с заготовкой, физико-механическими свойствами обрабатываемого материала).

Многие параметры, входящие в силовую модель процесса внутреннего шлифования (1) (диаметр и ширина заготовки, физико-механические свойства обрабатываемого материала, окружная скорость вращения круга и т.д.) сохраняют свои значения постоянными. Исключение составляет три параметра: радиальная составляющая силы резания, фактическая радиальная подача и степень затупления круга. Поэтому при проведении экспериментальной проверки модели силы резания достаточно контролировать только два параметра, но при условии обеспечения постоянства значения третьего параметра.

Анализ методик проведения экспериментов показал, что, если проводить шлифование при постоянном значении радиальной составляющей силы резания P_y = const, то, измеряя экспериментальные значения фактической радиальной подачи S_f и степени затупления круга η, можно построить график $S_Ф = f(\eta)$ и сделать оценку адекватности силовой модели.

Для получения аналитической модели $S_ф = f(\eta)$ решим уравнение (1) относительно фактической радиальной подачи $S_ф$ и получим выражение (4), которое отражает взаимосвязь фактической радиальной подачи со степенью затупления круга и радиальной составляющей силы резания:

$$S_Ф = \left[\frac{-(\eta M_2) + \sqrt{(\eta M_2)^2 + 4M_1 P_Y}}{2M_1}\right]^2. \quad (4)$$

Для оценки адекватности математической модели силы резания были проведены экспериментальные исследования. Эксперименты проводились на специальном стенде, обеспечивающем внутреннее шлифование с постоянной силой прижима обрабатываемого образца к шлифовальному кругу. В процессе эксперимента измерялись значения фактической радиальной подачи $S_ф$ и степени затупления круга η.

Измерение фактической радиальной подачи $S_ф$ проводилось через измерение скорости съема металла Q путем периодического измерения объема сошлифованного металла с образца через заданные интервалы времени. Учитывалось, что

производительность скорости съема металла Q при внутреннем шлифовании можно вычислить по следующей формуле [2]:

$$Q = \pi d V_{Soc} S_{ф}, \quad (5)$$

где Q – скорости съема металла на одном рабочем ходу, мм^3/мин.

Выразим формулу (4) через параметр Q после совместного решения уравнений (4) и (5):

$$Q = \pi d V_{Soc} \left[\frac{-(\eta M_2) + \sqrt{(\eta M_2)^2 + 4 M_1 P_Y}}{2 M_1} \right]^2. \quad (6)$$

В процессе эксперимента шлифовались образцы из разных марок сталей. Радиальная составляющая силы резания (P_y = const) подбиралась таким образом, чтобы шлифование велось в режиме гарантированного затупления, с образованием площадок затупления на задней поверхности режущих зерен. Шлифование велось от 0,5 до 2 минут в зависимости от силы P_y = const и характеристики круга. В промежутках между шлифованием образца измерялась скорость съема металла Q и степень затупления круга η. Скорость съема металла Q вычислялась как объем металла, сошлифованного с образца за интервал времени шлифования. Экспериментальные значения степени затупления круга η определялось на основании измерения размеров площадок затупления зерен [2]. Численное значение параметра η вычислялось как отношение суммарной площади площадок затупления зерен круга, находящихся на измеряемой рабочей поверхности, к геометрической площади всей измеряемой рабочей поверхности круга. Величины площадок затупления абразивных зерен измерялись с помощью бинокулярного микроскопа, установленного на шлифовальном станке над шлифовальным кругом.

При установке микроскопа ось объектива микроскопа направлена вдоль по оси шлифовального круга, чтобы рабочая поверхность круга и площадки затупления зерен круга были расположены перпендикулярно к оси объектива микроскопа. В один окуляр объектива микроскопа направлялся луч от точечного источника света. Через другой окуляр со встроенной сеткой измерялись площадки затупления зерен при увеличении 105^x. Шлифование на стенде проводилось кругами 5 50х40х63 25AF60M7V35A1 (диаметр круга 40), скорость круга 35 м/сек при частотах вращения круга и заготовки, соответственно, равными 2600 мин$^{-1}$ и 180 мин$^{-1}$. Исходный диаметр образцов равен 60 мм. Ширина шлифуемой поверхности образца равна 100 мм. Измерение диаметра шлифуемого образца в ходе эксперимента проводилось микрометром. Правка шлифовального круга осуществлялась алмазным карандашом марки С-1. В качестве охлаждения применялся водный раствор соды (1%) и нитрита натрия (0,4%).

На стенде шлифовались образцы марки стали Р9. Интенсивность напряжений σ_i = 3198 МПа. Время шлифования 60 секунд. Графики экспериментальных зависимостей изменения скорости съема металла Q и степени затупления круга η при шлифовании образца из стали Р9 с постоянной силой прижима детали к кругу показаны на рис. 3.

Анализ экспериментальных данных показывает, что в соответствии с теоретической моделью силы резания, в процессе шлифования с постоянной силой прижима детали к кругу происходит снижение скорости съёма материала по мере затупления абразивных зерен круга. На рис. 3 показана аппроксимация экспериментальных данных теоретической кривой по формуле (4). Статистическая обработка результатов показала, что погрешность вычислений не превышает 15 % при уровне доверительной вероятности 0,95. А это то значит, что математическая модель (1) может использоваться в модели формообразования поверхности при шлифовании.

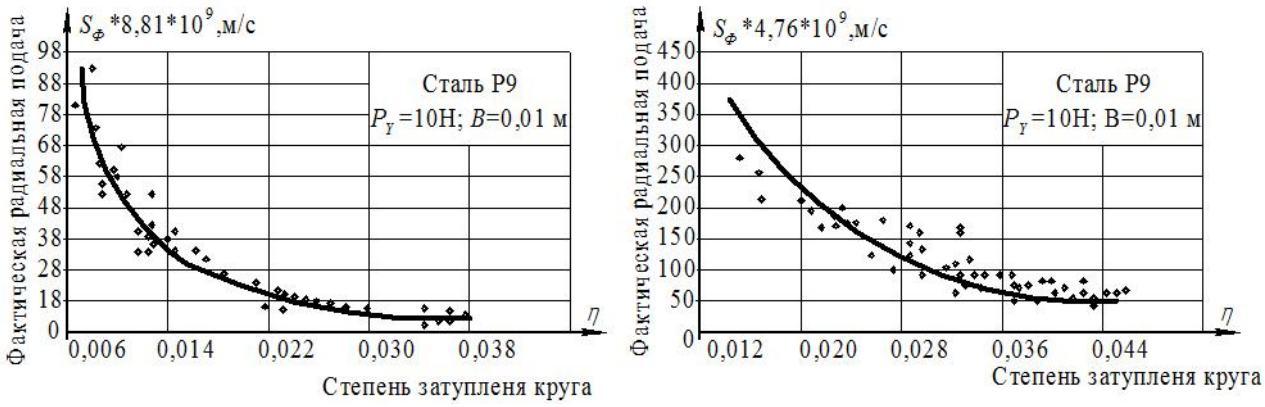


Рис. 1. Экспериментальные точки и теоретическая зависимость скорости съёма металла от степени затупления

Выводы

1. Предложенная аналитическая модель силы резания, возникающей в процессе внутреннего устанавливает взаимосвязь между всеми основными технологическими параметрами, оказывающими влияние на процесс съема металла (режимами резания, характеристикой шлифовального круга, степенью затупления круга, геометрическими параметрами зоны контакта круга с заготовкой, физико-механическими свойствами обрабатываемого материала).

2. Экспериментально подтверждена математическая модель взаимосвязи силы резания с параметрами характеристики круга через комплексный параметр степени затупления круга.

3. В дальнейшем разработанная модель силы резания послужит основой модели съема металла для внутреннего шлифования [4], которая, в свою очередь, позволит производить оптимизацию циклов внутреннего шлифования [5], обеспечивая стабильность показателей точности и качества обрабатываемой в переменных технологических условиях.

Список литературы: 1. 1. Корчак, С.Н. Производительность процесса шлифования стальных деталей / С.Н. Корчак. – М.: Машиностроение, 1974. – 297 с. **2.** Переверзев, П.П. Модель силы резания при круглом врезном шлифовании с учетом затупления режущих зерен абразивного круга / П.П. Переверзев, Д.Ю. Пименов // Трение и износ. – 2016. – №1(37). – С. 76–82. **3.** Переверзев, П.П. Аналитическое моделирование взаимосвязи силы резания при внутреннем шлифовании с основными технологическими параметрами / П.П. Переверзев, А.В. Попова // Металлообработка. – 2013. – №3. – С. 24–30. **4.** Переверзев П.П. Моделирование съема металла в зонах реверса в процессе внутреннего шлифования / П.П. Переверзев, А.В. Акинцева // СТИН. – 2017. – №9. – С. 29–33. **5.** Переверзев, П.П. Методика проектирования оптимальных циклов внутреннего шлифования в многомерном пространстве управляющих параметров / П.П. Переверзев, А.В. Акинцева // СТИН. – 2016. – № 5. – С. 26–31.

СИСТЕМОДИНАМИКА ТЕХНОСФЕРЫ КАК НОВОЕ НАУЧНОЕ НАПРАВЛЕНИЕ В ПОНИМАНИИ ПРОШЛОГО И ПРОГНОЗИРОВАНИИ БУДУЩЕГО

Аноприенко А.Я. *(ДонНТУ. г. Донецк, ДНР)*
E-mail: anoprien@ya.ru

Abstract: *The system dynamics of the technosphere can be considered as a new scientific direction, explaining the dynamics of development by a combination of mainly periodic and exponential processes, and allowing, on the one hand, to structure and largely explain the dynamics of technical and technological development in the past, and on the other, to offer a sufficiently scientifically based forecast of future technological development.*
Key words: *Technosphere, nootechnosphere, exponential growth, system dynamics.*

Введение. С начала 1990-х годов автором развивается концепция нооритмов [1], в настоящее время дополненная системой закономерностей экспоненциального развития и оформившаяся как системодинамика техносферы. Динамику и основные особенности развития данного направления демонстрируют основные работы автора, опубликованные начиная с 1994 года [1-20]. В 2007 году результаты первого этапа исследований были обобщены в монографии [10], где, в частности, была опубликована схема концептуальной модели структурирования исторического времени на основе модифицированных волн Кондратьева (рис. 1). Последующие исследования подтвердили достаточно высокий объяснительный и прогнозный потенциал данной модели применительно практически ко всем сферам человеческой деятельности, в том числе и в первую очередь при рассмотрении процессов развития техносферы. Этим выводом применительно к итогам положительной полуволны 1993-2014 гг. и прогнозом на последующие десятилетия и столетия было дополнено новое издание монографии «Нооритмы» в 2020 году [11].

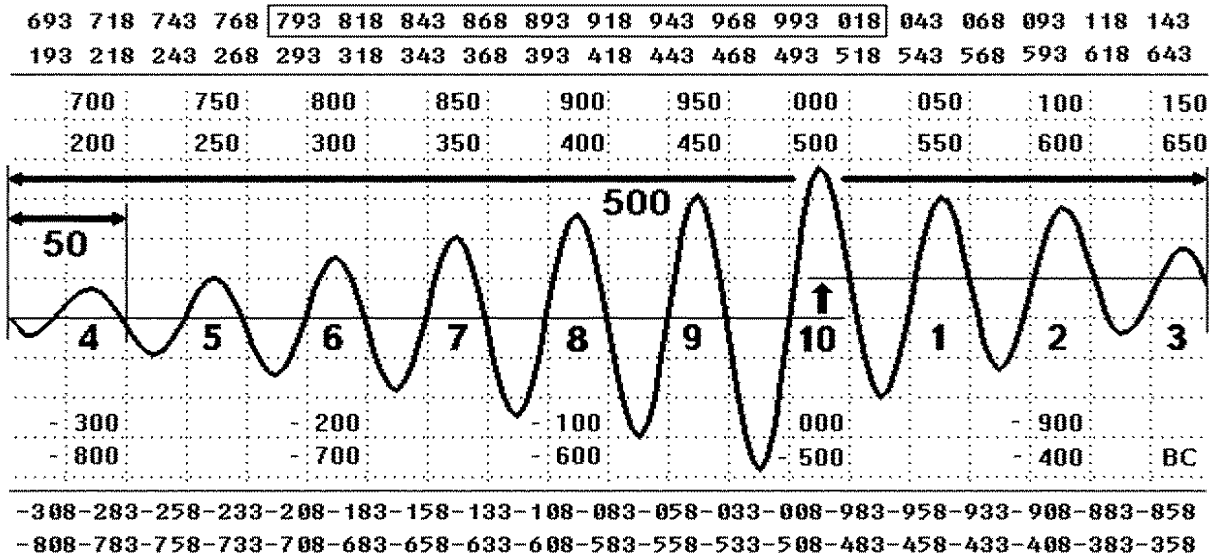


Рис. 1. Модель периодической динамики, предложенная автором в начале 1990-х годов в рамках концепции нооритмов как дальнейшее развитие модели Кондратьева, после проверки временем в течение десятилетий, может достаточно уверенно рассматриваться в качестве основы периодической составляющей техносферной системодинамики

Из чего формируется системодинамика техносферы. Основные направления развития экономических по своей сути идей Кондратьева в рамках концепции нооритмов заключаются в следующем:

- Предложена и в основном подтверждена множеством фактов и примеров гипотеза об экзогенном и чрезвычайно стабильном характере «длинных волн», влияющих через изменения в высшей нервной деятельности человека (отсюда приставка «ноо» в названии данной категории ритмов) на все сферы деятельности человека, что достаточно уверенно прослеживается применительно практически ко всем историческим периодам при условии их достаточной документированности.
- В условиях практически постоянного прогресса 500-летний период модулирования волн формирует своего рода раскачку для своеобразного цивилизационного скачка на принципиально новый уровень развития, что особенно ярко проявилось на рубеже XV и XVI веков (начало глобализации и преимущественно технологического развития, выражающего в формировании техносферы в её глобальном понимании), а также – XX и XXI веков (завершение глобализации формированием ноотехносферы).
- Ещё одной составляющей нооритмов являются циклы Чижевского (циклы солнечной активности), влияющие на интенсивность процессов изменений по разному в зависимости от фазы циклов Кондратьева.
- Положительный полупериоды волн Кондратьева характеризуются интенсификацией процессов экспоненциального развития, что на схеме символически отображается количеством и размерами направленных вверх стрелок.

Как показал анализ, большинство процессов развития в техносфере носят вполне предсказуемый экспоненциальный характер (см., например, работы [13-20]) и, более того, являются проявлением более общих закономерностей универсальной эволюции, различные проявления и особенности которой рассмотрены, например, в работе [20].

Весьма показателен тот факт, что и сама динамика становления системодинамики техносферы как научного направления великолепно укладывается в динамику нооритмов (рис. 2).

Динамика формирования «системодинамики техносферы» как научного направления в контексте динамики нооритмов. Характерно, что начало промышленной эпохи в период первой промышленной революции (ПР1) и первой волны Кондратьева (К1) практически совпало с началом научного осмысления системодинамики техносферы. Концепция экспоненциального роста применительно к народонаселению и экономические последствия такого роста впервые детально были рассмотрены в работе Томаса Мальтуса «О законе роста народонаселения» 1798 года [21]. Мальтус предполагал удвоение населения каждые 20-25 лет, что предполагало рост за 200 лет практически в тысячу раз (т. е. на 3 порядка при удвоении примерно каждые 20 лет), но реальный рост населения в целом за эти 200 лет был всего 10-кратным. При этом, если ограничиться только грамотным населением, то рост был в действительности 100-кратным, т. е. на 2 порядка за 200 лет. И если в целом тревожные предположения Мальтуса оказались ошибочными, то в первую очередь благодаря тому моменту, что он не учёл, что повышение общей грамотности населения ведёт к ускоренному технологическому росту и соответствующему решению ресурсных проблем.

Рис. 2. Формирование «системодинамики техносферы» как научного направления в контексте динамики нооритмов

В последующем идеи экспоненциального роста получили свое развитие в рамках реального ограничения ресурсов. В 1845 году Пьер Ферхюльст впервые предложил логистическое уравнение для роста численности населения [22], что явилось началом широкого использования логистической кривой (S-образной) в дополнение к более ранней модели неограниченного экспоненциального роста населения (J-образной), предложенной Томасом Мальтусом в 1798 г. в его классическом труде «О законе роста народонаселения». В 1910-х гг. Альфредом Лотки была предложена более эффективная логистическая модель для автокаталитических химических реакций, которая позднее приобрела форму модели «хищник-жертва» Лотки-Вольтерра [23]. В дальнейшем S-образные кривые в различных вариантах, в том числе в виде кривых Перла и Гомперца, активно использовались для описания и прогнозирования процессов технологического развития [23].

«Сферный подход» к развитию цивилизации впервые зафиксирован в 1845 году в работе Александра Гумбольда «Космос», где было введено понятие «интеллектосфера», а уже в 1848 году русский ученый-естествоиспытатель Н.Г. Фролов вводит понятие «интеллектосфера» в русскоязычный научный оборот, понимая под ней некую разумную оболочку, возвышающуюся над прочими земными сферами и способную оказывать воздействие на их развитие [25, 26]. «Интеллектосфера» явилась своего рода прообразом будущей «ноосферы» В. И. Вернадского, концепцию которой он развивал начиная с 1920-х годов и окончательно сформулировал в 1944 году [27]. Понятия «биосферы» и «антропосферы», непосредственно предшествующие введению в научный оборот понятий «ноосфера» и «техносфера», окончательно сформировались в период третьей волны Кондратьева (К3) благодаря предшествующим работам, самыми ранними из которых считаются труды французского учёного-естествоиспытателя Жана Батиста Ламарка в начале XIX в. (считается также, что термин антропосфера ввел в научный оборот в 1902 году Д. Н. Анучин [25]).

В период научно-технической революции (НТР – четвертая волна Кондратьева К4) благодаря работам компьютерного инженера Джея Форрестера появилось такое

научное направление как «системная динамика» или «системодинамика» [28], получившее дальнейшее развитие уже в начале нового тысячелетия [29-31] и на базе которого уже в период информационно-компьютерной революции (ИКР – пятая волна Кондратьева К5) сформировалась «системодинамика техносферы» [13-18].

Важную роль в формировании этого направления сыграли ярко выраженные экспоненциальные процессы развития в области информационно-компьютерных технологий, приведшие на гребне ИКР к формированию того, что получило название «техноноосферы» (технического воплощения концепции «ноосферы») и «ноотехносферы» (интеллектуальной составляющей техносферы) [13]. На экспоненциальные процессы в развитии техносферы инженерное сообщество обратило особое внимание в середине 1960-х годов в начальный период развития интегральной цифровой электроники, когда Гордон Мур, один из основателей и руководителей фирмы Интел, опубликовал статью, в которой показал, что наиболее целесообразным и вполне достижимым на текущем этапе развития является ежегодное удвоение числа транзисторов в интегральной микросхеме. В период ИКР исследователями отмечен феномен экспоненциального нарастания числа выявленных аналогов закона Мура, что и привело к формированию глобально информационно-компьютерной сети, знаменующей начало принципиально нового этапа в развитии цивилизации.

Наиболее ранние проявления системодинамики техносферы. В контексте достаточно документированной и достоверной истории наиболее ранним из известных периодов проявления закономерностей системодинамики техносферы можно считать эпоху III и IV династий Древнего Царства Египта в первой половине III тысячелетия до нашей эры, ознаменовавшуюся строительством пирамид, большинство из которых с различной степенью сохранности дожило до нашего времени (рис. 3).

Рис. 3. Реконструкция техносферной системодинамики наиболее раннего из достаточно документированных периодов технологического развития цивилизации эпохи Древнего Царства Египта

При этом наблюдаются ярко выраженные 4 волны развития, аналогичные Кондратьевским волнам К1-К4, в период которых наблюдалась практически экспоненциальная технологическая эволюция от строительства первых масштаб первой волны до создания колоссального комплекса пирамид на плато Гиза. При этом важно отметить, что по мере развития технологий и расширения масштабов сооружение стремительно по историческим меркам усложнялось их смысловое содержание. Комплекс пирамид Древнего царства на плато Гиза вблизи Каира, представляющий

собой грандиозную систему масштабных моделей наблюдаемого невооруженным глазом космоса (рис. 4), можно считать апогеем развития древнего моделирования [9]. Сооружению Великих пирамид предшествовала выработка соизмеримой с космосом системы мер, наиболее характерным проявлением которой являются так называемые «жезлы Хеси-Ра» периода строительства пирамиды Джосера [32]. И хотя до формирования относительно целостной техносферы в то время было ещё очень далеко и технологическое развитие носило ярко выраженный очаговый характер, тем не менее этот период, с учётом гипотезы осмысления космоса как воспроизводимой целостности в комплексе гизехских пирамид, в определённой степени можно считать реальным началом формирования техносферы.

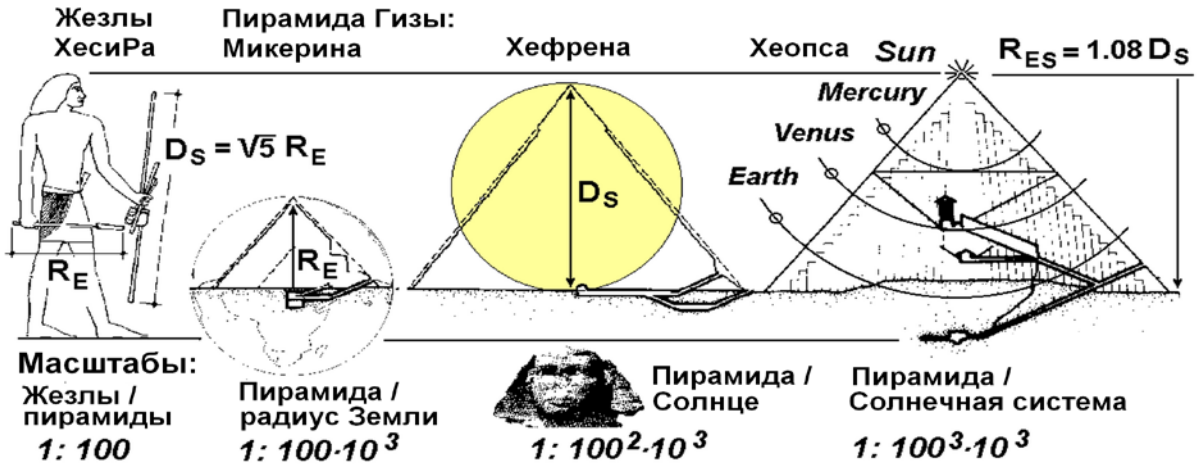


Рис. 4. Реконструкция исходного замысла комплекса пирамид на плато Гиза как модели наблюдаемого невооруженным глазом космоса

Системодинамики техносферы в эпоху Возрождения. С высокой степенью достоверности системодинамика техносферы может быть реконструирована применительно к эпохе Возрождения (рис. 5). Именно в этот в период, в основном на рубеже XV и XVI столетий произошёл переход к тотальной глобализации, что в первую очередь выразилось в развитии мореплавания и устойчивом экспоненциальном росте освоенных благодаря этому океанских просторов (рис. 6).

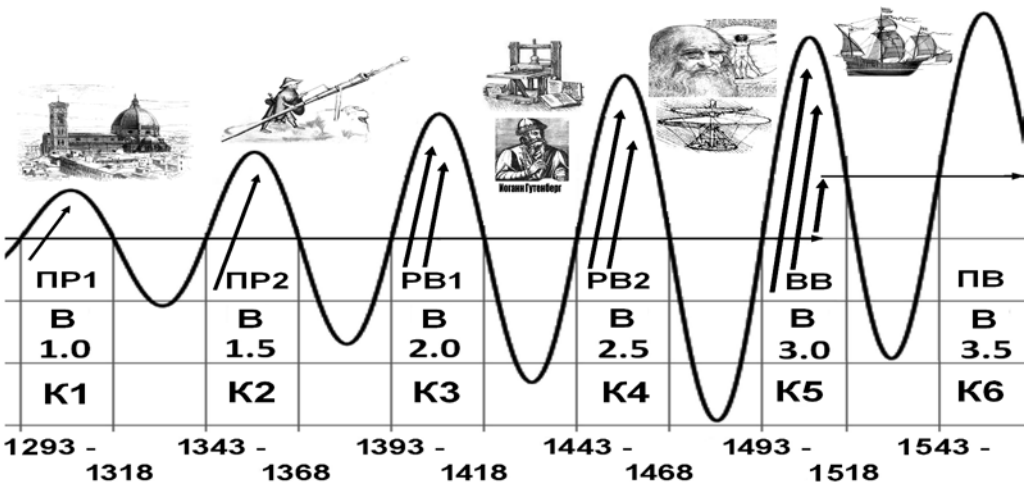


Рис. 5. Ярко выраженная периодическая составляющая системодинамики техносферы в эпоху Возрождения

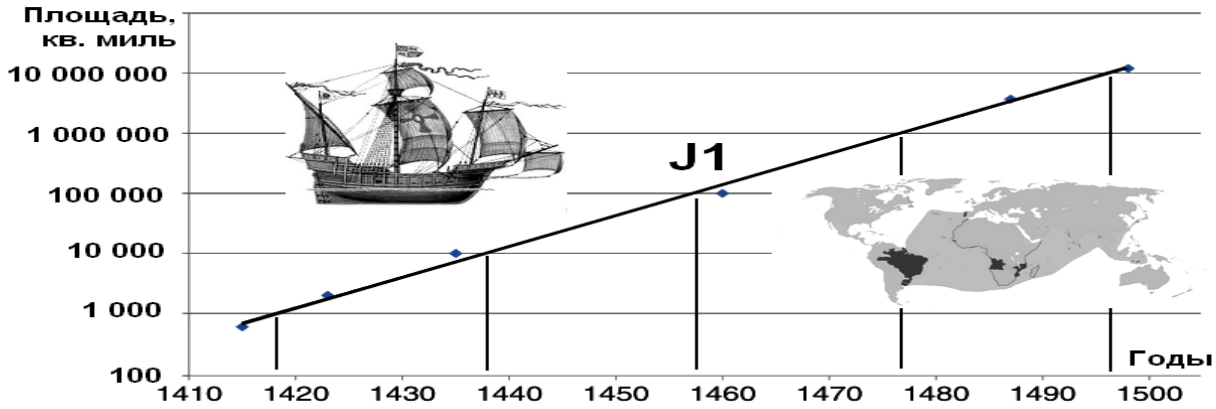


Рис. 6. Пример устойчивого экспоненциального роста в эпоху Возрождения: рост площади океана, освоенного Португалией в XV веке благодаря интенсивному развитию технологий мореплавания.

Влияние периодических закономерностей на экспоненциальные. Хотя на первый взгляд долговременные процессы экспоненциального развития носят в основном чрезвычайно устойчивый характер, при ближайшем рассмотрении оказывается, что они в действительности весьма существенно подвержены влиянию нооритмов. При этом наблюдается то, что можно обозначить как JJ-процессы, суть которых заключается в том, что J-кривые на определенных этапах не переходят в S-кривые, а просто существенно меняют скорость роста. Достаточно наглядно это видно на примере влияния нооритмов на скорость роста производительности компьютерных систем (рис. 7).

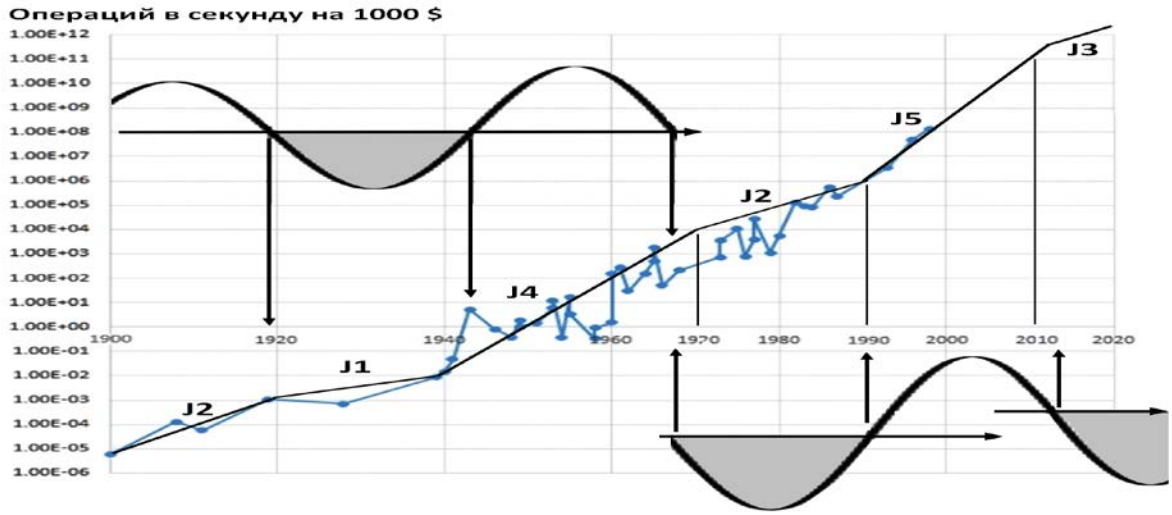


Рис. 7. Взаимодействие периодической и экспоненциальной составляющей системодинамики техносферы на примере JJ-кривых, отражающих динамику роста производительности компьютерных систем начиная с 1900 года

Циклы Чижевского как составляющая нооритмов и системодинамики техносферы и прогнозы на ближайшее будущее. В меньшей степени, чем циклы Кондратьева, но достаточно заметно на системодинамику техносферы влияют циклы солнечной активности (циклы Чижевского), которые в период положительной полуволны Кондратьева могут ускорять процессы технологического развития, а в период отрицательной полуволны – наоборот, являться явно осложняющим фактором

развития. Хорошим примером является 24-й цикл солнечной активности (рис. 8), который начавшись ещё в период ярко выраженной положительной полуволны К5 привел к завершению перехода цивилизацию в состояние тотальной цифровой связности и открытию дальних перспектив технологического развития через, например, дополнение системы адресации Интернет IPv4 системой IPv6 в 2011-2012 гг. Но вторая фаза всплеска солнечной активности 24-го цикла в 2014 году на спаде полуволны К5 привела к известным событиям в Украине, войне в Донбассе, резкому росту международной напряженности и, как следствие, заметному замедлению большинства процессов экспоненциального технологического развития. Нарастание активности в 25-м цикле может только усугубить негативные явления в развитии техносферы, что достаточно явно проявилось уже в 2020-м году.

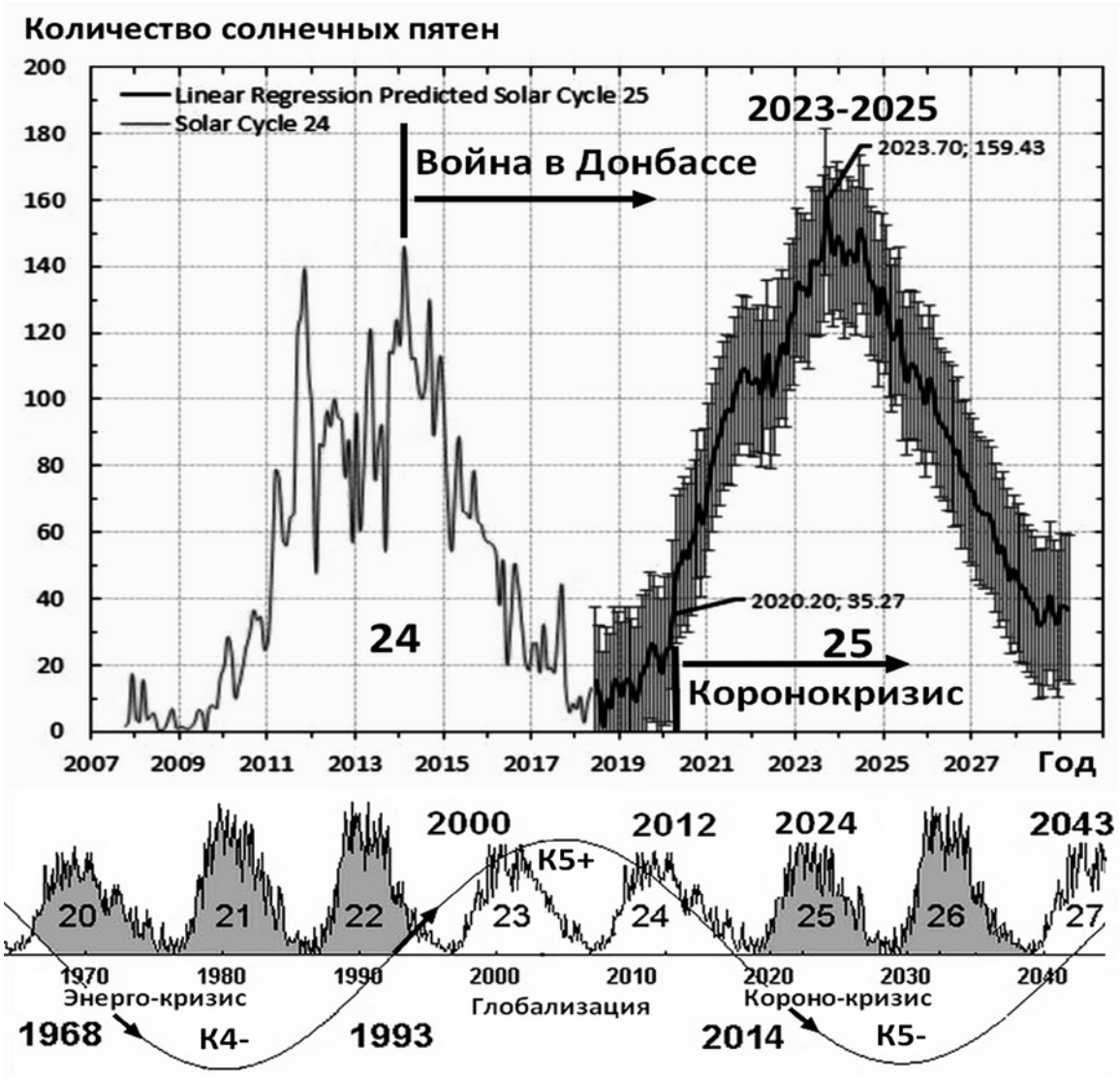


Рис. 8. Кроме модифицированных «волн Кондратьева» определенную роль в периодической составляющей системодинамики техносферы играют «волны Чижевского», связанные с активностью Солнца: повышение уровня солнечной активности по-разному влияет на процессы развития техносферы в зависимости от фазы «волн Кондратьева»

Прогнозы на дальнее будущее. Выявленные на сегодня закономерности в рамках системодинамики техносферы позволяют делать достаточно уверенные

прогнозы не только на ближайшее, но и на дальнее будущее. Во-первых, наблюдаемые во II тысячелетии темпы экспансии техносферы позволяют экстраполировать эти процессы во времени и пространстве на III тысячелетие (рис. 9). Во-вторых, можно также с высокой степенью вероятности прогнозировать, что наблюдавшиеся во II тысячелетии нооритмы сохранят свою динамику и в III тысячелетии (рис. 10). В-третьих, наблюдаемая за весь период известной нам истории динамика развития может быть также экстраполирована на самое дальнее будущее – на «вселенские» перспективы экспансии техносферы (рис. 11).

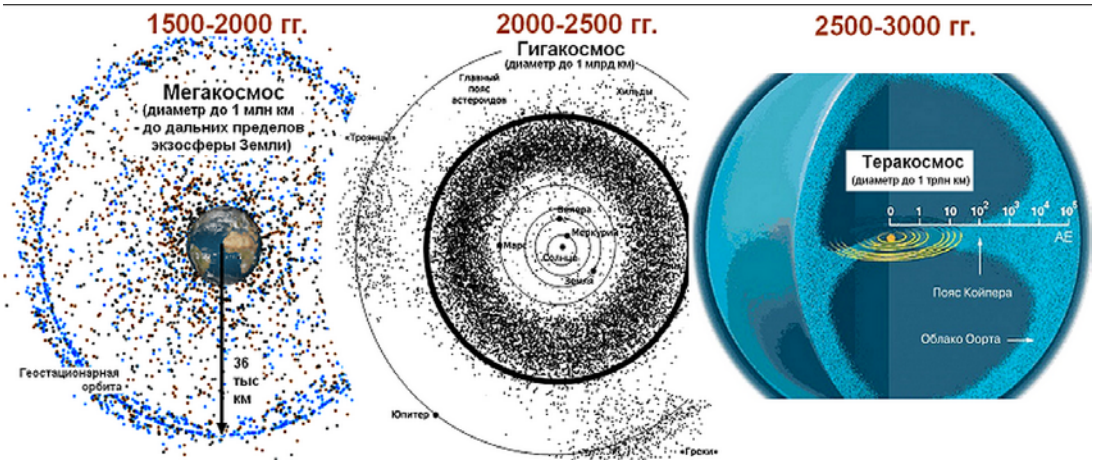


Рис. 9. Основные рубежи экспансии техносферы во II-III тысячелетиях нашей эры: к 2000 году освоен в основном Мегакосмос в пределах экзосферы диаметром порядка 1 миллиона километров, следующими рубежами являются Гигакосмос (диаметр сферы, включающей пояс астероидов, порядка миллиарда километров) и Теракосмос, простирающийся до дальних рубежей Солнечной системы, диаметром порядка триллиона километров

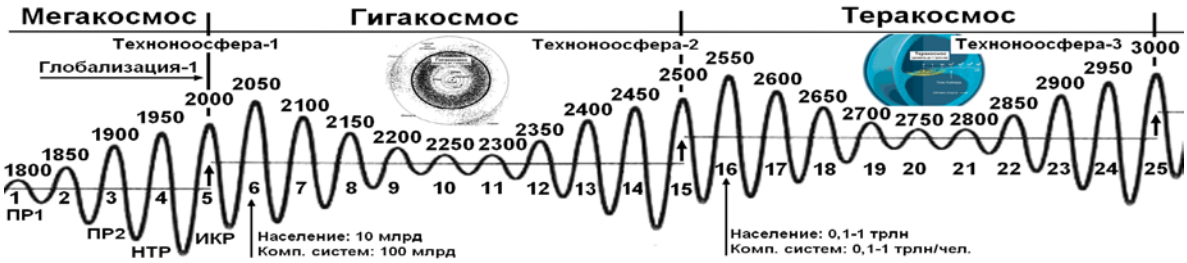
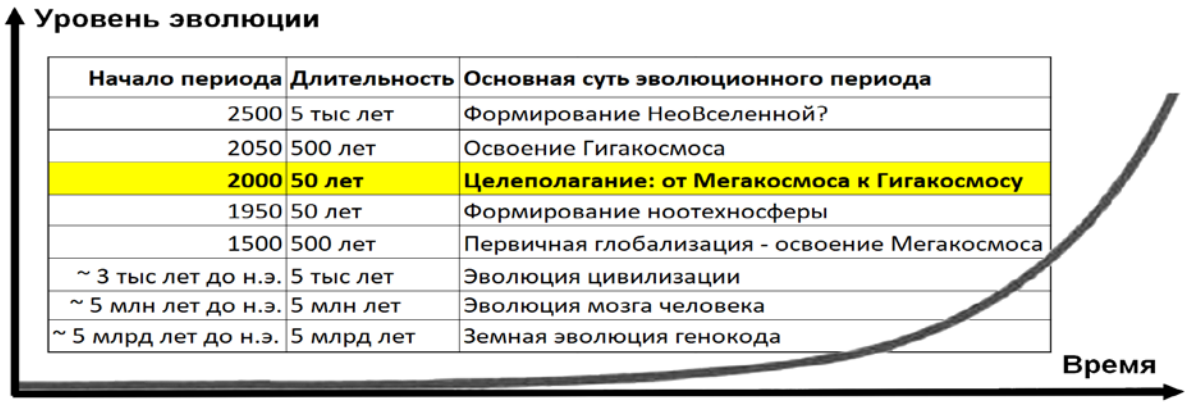


Рис. 10. Предполагаемая периодическая составляющая системодинамики техносферы III тысячелетия, сформированная на основе экстраполяции динамики II тысячелетия

С учётом наблюдаемой и достаточно документированной на сегодня динамики техносферы на всём протяжении её истории в действительности может быть сформировано несколько моделей экспансии (рис. 12). Наиболее вероятной хотелось считать «короткую шкалу», предполагающую чрезвычайно быструю экспоненциальную экспансию начиная с эпохи Возрождения, когда начался стремительный переход от локальных очагов цивилизации к её глобальной форме, охватившей к началу нового тысячелетия не только всю Землю, но и околоземное пространство до высот, как минимум, 36 тыс. км, где находится геостационарная орбита, на которой сегодня размещено уже около тысячи спутников, что позволяет уверенно считать её на сегодня одним из дальних рубежей техносферы.



Начало периода	Длительность	Основная суть эволюционного периода
2500	5 тыс лет	Формирование НеоВселенной?
2050	500 лет	Освоение Гигакосмоса
2000	**50 лет**	**Целеполагание: от Мегакосмоса к Гигакосмосу**
1950	50 лет	Формирование ноотехносферы
1500	500 лет	Первичная глобализация - освоение Мегакосмоса
~ 3 тыс лет до н.э.	5 тыс лет	Эволюция цивилизации
~ 5 млн лет до н.э.	5 млн лет	Эволюция мозга человека
~ 5 млрд лет до н.э.	5 млрд лет	Земная эволюция генокода

Рис. 11. Модель универсальной эволюции в контексте космоантропной гипотезы

Далее до расстояния порядка 300 тыс. км (точнее, до точки Лагранжа L системы «Земля-Луна») находится область высоких околоземных орбит. Пока они используются довольно редко - в частности, в этой области пространства сейчас работает космический телескоп TESS (Transiting Exoplanet Survey Satellite), но в целом это позволяет утверждать, что на сегодня диаметр техносферы достиг примерно 600 тыс. км – размер, соизмеримый с Мегакосмосом, определяющим дальние рубежи околоземного пространства (рис. 9).

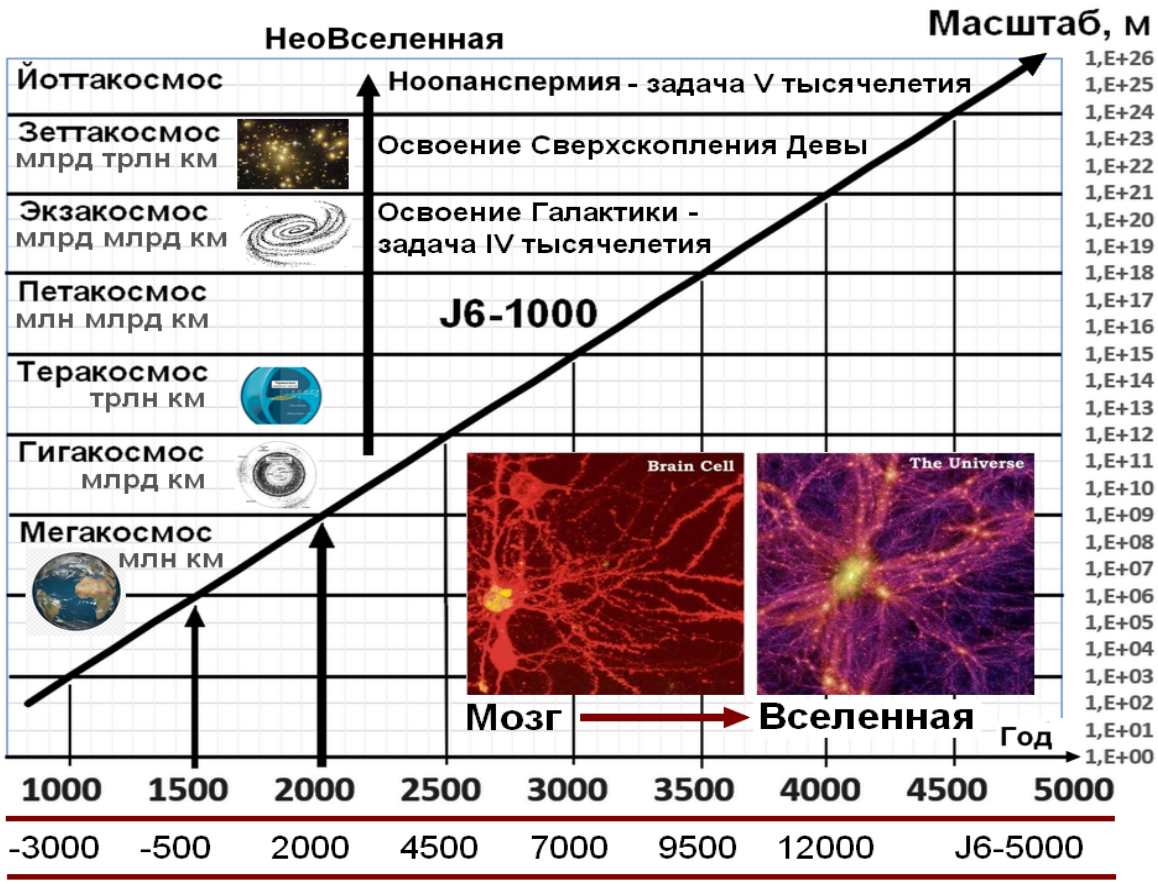


Рис. 12. Экспоненциальная экспансия техносферы с короткой (с начала 2-го до конца 5-го тысячелетия) и длинной (в 5 раз более растянутой) шкалой времени – какая шкала более соответствует действительности будет определено реальной динамикой освоения Гигакосмоса

Города начала II тысячелетия – техносферные образования аналогичной связности – имели типичный диаметр примерно в миллион раз меньше. Сохранение таких темпов экспансии (фактически J6-1000, т. е. на 6 порядков за тысячелетие) позволяет предполагать, что к концу III тысячелетия техносфера вырастет до пределов Теракосмоса, а к концу IV тысячелетия – до пределов Экзакосмоса (рис. 12).

Но это наиболее оптимистичный сценарий с максимальной оценкой темпов техносферной экспансии. На нижней шкале рисунка 12 представлен более сдержанный вариант оценки темпов экспансии техносферы, исходящий из того, что уже гизехский комплекс пирамид диаметром порядка полутора километров можно считать типичным техносферным объектом. А это означает, что рост масштабов техносферы в миллион раз происходит не за 1 тысячу лет, а, как минимум, за 5 тысячелетий. Но и в этом случае перспективы «вселенской экспансии» техносферы находят в пределах обозримого будущего.

Заключение. Таким образом, системодинамика техносферы может рассматриваться как новое научное направление, объясняющее динамику развития сочетанием преимущественно периодических и экспоненциальных процессов, и позволяющее, с одной стороны, структурировать и во многом объяснить динамику технического и технологического развития в прошлом, а с другой – предложить в достаточной степени научно обоснованный прогноз будущего развития как в ближней, так и в дальней перспективе, относительно хорошо структурированный, проверяемый и открытый для аргументированного обсуждения, уточнения и развития.

Список литературы: **1.** Аноприенко А.Я. Концепция нооритмов и ее мировоззренческое значение // Доклад на региональной научно-методической конференции «Гуманизация образования в техническом университете». – Донецк: ДонГТУ, 1994. – 3 с. **2.** Аноприенко А.Я. Эскиз нового мировоззрения. // Доклад на региональной научно-методической конференции «Гуманизация образования в техническом университете». – Донецк: ДонГТУ. – 1994. – 2 с. **3.** Аноприенко А.Я. Русские циклы. // Тезисы докладов международной научной конференции 12-13 марта 1994 г. «340 лет Переяславской Рады». Вып. 2. – Донецк. – 1994. **4.** Anopriyenko A. Interpretation of some artifacts as special simulation tools and environments / “Short Papers Proceedings of the 1997 European Simulation Multiconference ESM'97. Istanbul, June 1-4, 1997" – Istanbul, SCS, 1997, p. 23-26. **5.** Anopriyenko A. Archaeosimulation: new sight on ancient society and lessons for com-puter era / Problems of Simulation and Computer Aided Design of Dynamic Systems. Scientific Papers of Donetsk State Technical University. Vol. 29. – Sevastopol: Weber, 2001. P. 320-326. **6.** Аноприенко А.Я., Джура С.Г. В гармонии с космосом: традиции и артефакты космоэкологиии в истории цивилизации // В кн.: «Мудрость Дома Земля. О мировоз-зрении XXI века». Под редакцией В.А. Зубакова. Санкт-Петербург-Донецк. 2003. С. 76-87. **7.** Аноприенко А.Я., Моргун В.А. Нооритмы в судьбе человека и общества: мегафеномены антропокосмической синхронизации // Материалы пятой междисципли-нарной научной конференции «Этика и наука будущего: жизнь во Вселенной», г. Москва, 23-25 марта 2005 г. – М.: «Дельфис», 2005. С. 195-198. **8.** Аноприенко А.Я. Космоэкология и космоантропный принцип // Экогеософский альманах «Мудрость дома Земля»: О мировоззрении XXI века. Российско-украинское издание. Под редакцией С.Г. Джуры, В.А. Янкиной и А.Б. Казанского. – Санкт-Петербург – Донецк, 2007. С. 128-135. **9.** Аноприенко А.Я. Археомоделирование: Модели и инструменты докомпьютерной эпохи. – Донецк: УНИТЕХ, 2007. – 318 с. **10.** Аноприенко А.Я. Нооритмы: модели синхронизации человека и космоса. – Донецк: УНИТЕХ, 2007. – 372 с. **11.** Аноприенко А.Я. Нооритмы:

модели синхронизации человека и космоса. Издание 3-е. Исправленное и дополненное. – Донецк: УНИТЕХ, 2020. – 378 с. **12.** Аноприенко А.Я. Цивилизация, ноосфера и нооритмы // «Ноосфера и цивилизация». Научный журнал. Выпуск 7 (10). – Донецк, 2009, с. 62-69. **13.** Аноприенко А.Я. Системодинамика ноотехносферы: основные закономерности // «Системный анализ в науках о природе и обществе». – Донецк: ДонНТУ, 2014, №1(6)-2(7). С. 11-29. **14.** Аноприенко А.Я. Пятая волна индустриализации и третья промышленная революция // Вестник Донецкого национального технического университета, №1 (1), 2016. С. 3-12. **15.** Аноприенко А.Я. Системодинамика техносферы: технический прогресс и нооритмы // Системный анализ и информационные технологии в науках о природе и обществе, 2016. № 1(10)-2(11). – С. 32-58. **16.** Аноприенко А.Я. Закономерности развития компьютерных технологий и обобщенный закон Мура // Вестник Донецкого национального технического университета, №2 (2), 2016. С. 3-17. **17.** Аноприенко А.Я., Иваница С.В. Введение в постбинарный компьютинг. Арифметико-логические основы и программно-аппаратная реализация. – Донецк: ДонНТУ, УНИТЕХ, 2017. — 308 с. **18**. Аноприенко А.Я. Системодинамика техносферы. – Донецк: ДонНТУ, УНИТЕХ, 2017. — 300 с. **19**. Аноприенко А.Я. XXI век в контексте нооритмов // Россия в XXI веке: глобальные вызовы, риски и решения: материалы международного научно-практического форума «Россия в XXI веке: глобальные вызовы, риски и решения». – М.: РАН, 2019. С. 35-38. **20**. Аноприенко А.Я. Интеллектуализация техносферы в контексте универсальной эволюции // «Машиностроение и техносфера XXI века». Сборник трудов XXVI международной научно-технической конференции в г. Севастополе 23-29 сентября 2019 г. – Донецк: ДонНТУ, 2019. С. 482-486. **21**. An Essay on the Principle of Population As It Affects the Future Improvement of Society, with Remarks on the Speculations of Mr. Goodwin, M. Condorcet and Other Writers (1 ed.). London: J. Johnson in St Paul's Church-yard. 1798. 396 p. **22**. Verhulst, P.-F. Recherches mathématiques sur la loi d'accroissement de la population, dans Nouveaux Mémoires de l'Académie Royale des Sciences et Belles-Lettres de Bruxelles, 1845, N 18, p. 1-42. **23**. Трубецков Д.И. Феномен математической модели Лотки-Вольтерры и сходных с ней // Изв. вузов «ПНД», т. 19, № 2, 2011. С. 69-88. **24**. Мартино Дж. Технологическое прогнозирование. – М.: Прогресс, 1977. – 592 с. **25**. Субетто А.И. Ноосферная научная школа в России: итоги и перспективы. – СПб.: Астерион, 2012. – 75 с. **26**. Смирнов С. Своеобразие ноосферогенеза в условиях информатизации современного общества. – Казань. 2009. – 135 с. **27**. Вернадский В. И. Несколько слов о ноосфере // Успехи современной биологии. 1944. №. 18. Вып. 2. С. 113-120. **28**. Форрестер Дж. Мировая динамика. – М.: ООО «Издательство АСТ», 2003. – 379 с. **29**. Аверин Г.В. Об основаниях системодинамики // Системный анализ и информационные технологии в науках о природе и обществе. – Донецк: ДонНТУ. 2011, № 1. С. 6-52. **30**. Аверин Г.В. О фундаментальных основах системодинамики: опытные факты, методология, приложения // Интеллектуальный анализ информации, ИАИ-2011. – К: НТУ «КПИ», 2011, – С. 152-169. **31**. Аверин Г.В. Системодинамика. – Донецк: Донбасс, 2014. – 403 с. **32**. Шевелев И.Ш., Марутаев М.А., Шмелев И.П. Золотое сечение: Три взгляда на природу гармонии. – М.: Стройиздат, 1990. – 343 с.

ТЕМПЕРАТУРНО-ЧАСТОТНЫЕ ОБЛАСТИ НЕУПРУГОСТИ И ХАРАКТЕРИСТИКИ ПЕРЕХОДНЫХ РЕЛАКСАЦИОННЫХ ДИССИПАТИВНЫХ ПРОЦЕССОВ В ТВЕРДЫХ МАТЕРИАЛАХ

Антуфьев Б.А., Белашова И.С., Горшков А.А., Ломовской В.А., Шатохина С.А., Шоршина А.С. *(МАИ, РТУ МИРЭА, ИФХЭ РАН, г. Москва, Россия)*
Тел.: +7 (495) 4272743; E-mail: ag60341@gmail.com

Abstract: *A question concerning possibility or impossibility of all the observed on internal friction spectrum peaks of dissipative losses description using apparatus of Boltzmann-Volterra inelasticity phenomenological theory is considered.*
Key words: *internal friction, shear modulus defect, inelasicity.*

Исследование и теоретический анализ основной взаимосвязи физико-химической механики «химическая природа, строение, структура – физико-механические характеристики» конденсированных систем (материалов) по спектрам внутреннего трения показали, что даже однокомпонентная аморфная или кристаллическая система в твердом агрегатном состоянии не является релаксационно однородной системой [1]. Экспериментально это определяется тем, что на спектре внутреннего трения системы, построенной из одних и тех же структурных химических элементов, может наблюдаться как монотонно возрастающий фон диссипативных потерь, так и максимумы диссипативных потерь, налагаемые на фон в различных температурных областях спектра [2,3]. Например, при исследовании механизмов внутреннего трения монокристаллов Fe на спектре $tg\delta = f(T)$ наблюдается возрастающий фон внутреннего трения, а на температурной зависимости модуля упругости $E = f(T)$ - монотонный спад при повышении температуры исследования [4]. Однако для поликристаллической системы, построенной из этих же структурных элементов Fe, на фоне диссипативных потерь уже наблюдается локальный по интервалу температур пик диссипативных потерь. На температурной зависимости частоты колебательного процесса, возбуждаемого в данной системе и выводящего все структурные элементы Fe из состояния механического и термодинамического равновесия, в области температур проявления пика потерь наблюдается нарушение монотонности снижения модуля упругости. Следует отметить, что эти изменения в температурных зависимостях физико-механических характеристик данной системы произошли вследствие изменения её внутренней структуры, создаваемой из тех же элементов Fe, что и монокристаллическая система.

Исследования аналогичных зависимостей для аморфных конденсированных систем также выявляет наличие пиков диссипативных потерь, расположенных в разных температурных интервалах и налагаемых на фон внутреннего трения. Кроме того, на температурных зависимостях частоты колебательного процесса $\nu = f(T)$ в местах проявления пиков потерь наблюдаются локальные температурно-частотные области отклонения от теоретического монотонного спада при повышении температуры исследования. Например, для неорганических оксидных систем, в частности стеклообразного B_2O_3 [5], на зависимости $\lambda = f(T)$, где $tg\delta = \dfrac{\lambda}{\pi}$, наблюдается уже два налагаемых на фон внутреннего трения локальных диссипативных процесса, расположенных в различных интервалах температур и имеющих различную интенсивность в максимуме пика. Соответственно, на зависимостях $\nu = f(T)$ в местах проявления пиков потерь наблюдаются две локальные температурно-частотные

области разной степени отклонения от теоретического монотонного спада при повышении температуры исследования. Ещё более сложным спектром характеризуется полиметилметакрилат [6], на котором наблюдается до десяти локальных диссипативных пиков потерь.

Таким образом, возникает вопрос о возможности или невозможности описания всех наблюдаемых на спектре пиков диссипативных потерь с применением аппарата феноменологической теории неупругости Больцмана-Вольтерра. Для ответа на этот вопрос, прежде всего, требуется определить, являются ли наблюдаемые эффекты процессами, имеющими релаксационный механизм внутреннего трения. После этого требуется провести теоретический анализ вопроса о применении или неприменении той или иной функции релаксации для описания как возрастающей ветви фона диссипативных потерь на спектре (агрегатная структурная подсистема), так и выявленных локальных диссипативных процессов (модифицирующие подсистемы), налагаемых на фон потерь агрегатной структурно-кинетической подсистемы.

Как известно, функция неупругости в наследственной теории вязкоупругости определялась в изотермических условиях (термодинамическое состояние равновесия) в статических (или квазистатических) режимах внешнего деформирующего воздействия, выводящего исследуемую систему из состояния механического равновесия [7-9]. Переход системы в равновесное состояние описывался определенной функцией, т.е. функцией релаксации или функцией ползучести (функцией ретардации). В этом случае каждая температура T (изотермического режима исследования $T = const$) определяла и время релаксации τ процесса:

$$\tau = \tau_0 exp \frac{U}{RT} \tag{1}$$

Время релаксации τ является одним из параметров функции релаксации $\varphi(t)$, входящей в интеграл уравнения Больцмана-Вольтерра и описываемой, в самом общем виде, соотношением Максвелла:

$$\varphi(t) = exp\left[-\left(\frac{t}{\tau}\right)\right] \tag{2}$$

Данная функция в статическом режиме определяется только в области температур стеклования T_g (аморфные системы) или температуры кристаллизации T_{cr}, т.е. в области температур смены агрегатного состояния системы. При более низких температурах $T < T_g$ время релаксации существенно увеличивается в соответствии с соотношением (1), что требует неприемлемого времени наблюдения t за процессом. Поэтому соотношение (2) описывает процесс релаксации только агрегатной или формообразующей структурной подсистемы всей системы (материала).

Исследования диссипативных процессов в широком интервале температур возможно только в динамическом режиме внешних воздействий. В этом случае требуется определить ту температурно-частотную характеристику процесса, которая бы могла описывать пики диссипативных потерь с позиций релаксационных явлений. Это может быть как зависимость $\lambda = f(T)$, так и зависимость $\nu = f(T)$ для каждого локального пика потерь. Рассмотрим возможность использования в качестве характеристики процесса зависимость $\nu = f(T)$ и проведем теоретический анализ этой зависимости с использованием различных ядер релаксации, полученных в статическом режиме для одной агрегатной подсистемы. Это могут быть функции Абеля, Дуффинга, Максвелла, Кольрауша, Работнова, Ржаницына, Гаврильяка-Негами. Как известно,

частота колебательного процесса ν и модуль упругости (сдвига) G связаны соотношением [10]:

$$G = k_1 \nu^2, \text{ где } k_1 = \frac{I_a}{4l\left(I_S + 2I\right)} \neq f\left(T\right) = const;\ G = f\left(T\right),\ \nu = f\left(T\right) \qquad (3)$$

Теоретически зависимость $G = f\left(T\right)$ близка к линейной и при повышении температуры на сто градусов соответствует линейному снижению модуля на $2-4\%$, т.е.: $G\left(T\right)k_2 = \nu^2\left(T\right)k_1$, где $k_1 = const;\ k_2 = const;\ k_1 \neq k_2$. В безразмерной форме это соотношение определяется в виде: $\frac{G_i\left(T_i\right)k_2}{G_0\left(T_0\right)k_2} = \frac{{\nu_i}^2\left(T_i\right)k_1}{{\nu_0}^2\left(T_0\right)k_1} \Rightarrow \Delta G\left(T\right) \approx \Delta\nu^2\left(T\right)$. Таким образом, $\Delta\nu^2\left(T\right)$ позволяет определить $\Delta G\left(T\right)$. Однако, учитывая тот экспериментальный факт, что $\nu = f\left(T\right)$ для каждого k локального диссипативного процесса не совпадает с теоретической зависимостью (3), эффект отклонения – дефект модуля $\Delta G\left(T\right)$, определяется соотношением:

$$\Delta G_k\left(T\right) = \frac{G_0\left(T_0\right) - G_i\left(T_i\right)}{G_0\left(T_0\right)} = \frac{{\nu_0}^2\left(T_0\right) - {\nu_i}^2\left(T_i\right)}{{\nu_0}^2\left(T_0\right)} \qquad (4)$$

Для определения вида функции релаксации необходимо определить связь $\varphi\left(t\right) \to \varphi\left(\theta\right)$ (при $\theta = \frac{1}{\nu}$) для различных, перечисленных выше функций релаксации, полученных в статическом режиме и определить возможность их использования в динамических режимах.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант РФФИ № 18-08-00427-а, грант РФФИ № 19-33-90105-аспиранты).

Список литературы: **1.** Ломовской В.А. Физико-химическая механика. Основные понятия. Часть 1. Научное издание в трёх частях. − М.: Изд-во ИФХЭ РАН, 2019. − 415 с. **2.** Постников В.С. Внутреннее трение в металлах. − М.: Металлургия, 1969. − 330 с. **3.** А.А. Валишин, А.А. Горшков, В.А. Ломовской Релаксационные процессы и их спектры в ликвирующих стеклах // Изв. РАН. МТТ. − 2011. − №2. − С. 169-182. **4.** Ниблетт Д.Х., Уилкс Дж. Внутреннее трение металлов, вызванное дислокациями // Сб. статей: Внутреннее трение металлов. − М.: ГНТИ, 1963. − С. 13-89. **5.** Горшков А.А., Ломовской В.А., Полываная Е.Н. Области локальной неупругости и диссипативные явления в некоторых системах бора // Изв. РАН. МТТ. − 2005. − №3. − С. 85-105. **6.** Бартенев Г.М., Ломовской В.А., Карандашова Н.Ю. Спектры времен релаксации в полиметилметакрилате // Высокомолек. Соед. Сер. Б. − 1993. − Т.35. − №9. − С. 45-52. **7.** Boltwmann L. Zur Theorie der elastischen Nachwirkung. Sitzungberechte der Mathematich-Natur-wissenschaftlichen Klasse der Keiserlichen Academie der Wissenschaften. 1870. B70. №2. S.275. **8.** Volterra V. Sulle equazione integrodiffereziale della theoria dell elastisita. Atti della Reale Academia dei Linsei. 1909. V.18. №2. P.295. **9.** Ишлинский А.Ю. Прикладные задачи механики. Книга 1. Механика вязкопластических и не вполне упругих тел. − М.: Наука, 1986. − 359 с. **10.** Чудновский В.Г Методы расчета колебаний и устойчивости стержневых систем. – Киев: Изд-во АН УССР, 1952. − 410 с.

СОЗДАНИЕ НОВОГО ЭКЗОСКЕЛЕТОНА С ВОЗМОЖНОСТЬЮ РЕКОНФИГУРАЦИИ НА РЕАЛИЗАЦИЮ РАЗЛИЧНЫХ ОПОРНОДВИГАТЕЛЬНЫХ ФУНКЦИЙ

Арутюнян М.Г., Казарян С.Д., Закарян Н.Б., Саргсян Ю.Л., Верлинский С.В.
(НПУА, Ереван, Армения)
Tel.: +374(093)998840; E- mail: mharut@seua.am

Abstract: *The design guidelines and comparative analysis of statically balanced wearable assistive devices for human walking and sitting, as well their advantages, disadvantages and development prospects are presented. A new conceptual scheme of the exoskeleton with passive balancing during walking and sitting is described. The portability and compactness of the device are achieved by reducing the number of balancing elements. The application of new constructive solutions allows both to use the same elements for implementing various assistive functions and to switch the device into the required operation mode easier. The designed device can be used for assisting the motor functions of human musculoskeletal system or for its physiotherapy. Moreover, the used balancing approach is universal and can be applied not only for designing assistive devices, but also for any robotic device with leverage swinging links, in general.*
Keywords: *exoskeleton, assistive device, rehabilitation device, portability, static balancing, elastic element, spring.*

Введение. Не взирая на сущесвенный прогресс, наблюдающийся в последние годы в области реабилитационной робототехники, имеет место насущная необходимость разработки новых портативных экзоскелетонов, наилучшим образом отвечающих потребностям пользователя. В частности, важными стимулами для разработки новых экзоскелетонов являются высокая энергозатратность, ограничивающая время работы аккумулятора, большие габариты и вес, ограниченные адаптивность и реконфигурируемость известных устройств. При этом, существенно обеспечение динамической устойчивости экзоскелетонов, а также безопасности их в эксплуатации. Названные и ряд прочих не менее важных новых требований выдвигают новые исследовательские и иновационные инженерные задачи [1 - 6], от решения которых существенным образом зависят перспективы расширения применения робототехнических экзоскелетонов. Целью настоящей работы является разработка новой концептуальной схемы многоцелевого экзоскелетона с улучшенными энергозатратными, весовыми и прочими характеристиками, его оптимальное проектирование и создание макетного образца разработанного экзоскелетона. Работа выполнена в рамках научной тематики научно-исследовательской лаборатории “Робототехника” Национального политехнического университета Армении.

1. Многоцелевой реконфигурируемый экзоскелетон. Основными задачами концептуального проектирования нового экзоскелетона были обеспечение его функционирования в нескольких ассистивных режимах с использованием при этом минимального числа упругих уравновешивающих элементов, а также упрощение и облегчение переналадки устройства на ходу самим пользователем, без посторонней помощи, что очень важно при перманентом пользовании им людей пожилого возраста и необходимости самостоятельной и оперативной переналадки. Авторами разработана новая структура многоцелевого реконфигурируемого экзоскелетона с гибкими элементами, оценены его функциональные возможности, условия и ограничения проектирования. Разработаны также конструкция предложенного экзоскелетона и документация для изготовления его макетного образца. Ниже представлена концептуальная схема нового двухподвижного экзоскелетона для ходьбы и приседания человека, которая соответствует основным требованиям проектирования.

1.1. Экзоскелетон с 2-мя степенями свободы. Предложена новая схема многоцелевого устройства с упругими и гибкими элементами для ходьбы, приседания и фиксации человека в положении стоя (рис.1). Экзоскелетон обладает рядом преимуществ по сравнению с известными устройствами аналогичного назначения: портативностью, регулируемостью, малогабаритностью, универсальностью, эргономичностью и низкой себестоимостью.

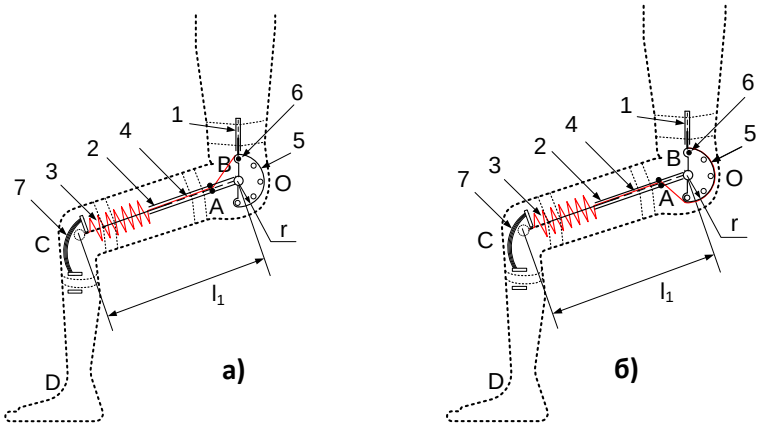


Рис. 1. Схема портативного двухподвижного экзоскелетона с полу-роликами и гибкими элементами: а - при ходьбе, б - при приседании

Экзоскелетон фиксируется на бедре и пояснице человека с помощью поясов, либо в карманчиках специальных ортопедических шортов. Пружина 3 устанавливается вдоль звена 2 и свободным концом с помощью троса 4 отводится к полу-ролику 5, который имеет позиционные отверстия для фиксации и дефиксации к звену 1 фиксатором 6. Позиционные отверстия на полу-ролике 5 выполняются в каждом конкретном случае индивидуально в зависимости от размера диаметра самого ролика, массы пациента, величин углов поворота ног при ходьбе и торса при приседании, типа и допустимого хода эластичного элемента, а также от требуемого дозирования реабилитационных нагрузок. Поворотом полу-ролика 5 по часовой, либо против часовой стрелки изменяется назначение эластичного элемента 3, и система служит ассистентом либо для ходьбы, либо для приседания человека. Введением в систему группы гибких пластин 7, которые крепятся одним концом к звену 2, а другим свободным концом при помощи ремней - к голени человека, обеспечивается статическое уравновешивание голени и стопы в сагиттальной плоскости при ходьбе.

Таким образом, имеет место не только статическое уравновешивание ноги относительно тазобедренного сустава, но и голени со стопой относительно коленного сустава. В отличие от уравновешивающего момента, создаваемого эластичным элементом 3 в области тазобедренного сустава, уравновешивающий момент, создаваемый гибкими пластинами 7 в области коленного сустава, не надо перенаправлять при ходьбе или приседании, так указанные пластины функционируют в обоих случаях. Уравновешивающий момент в области коленного сустава, содействуя моменту в области тазобедренного сустава, способствует уменьшению неуравновешенности тела человека при его приседании. Следует отметить, что здесь не приведены добавочные механизмы для обеспечения удобного контроля и позиционирования уравновешивающей системы, которые могут быть механическими: в виде суперпозиционных роликов, редукционных зубчатых передач, или мехатронными: в виде контроллеров, датчиков, малогабаритных электромоторов и прочих актуаторов.

Выполнено моделирование статического уравновешивания экзоскелетоном в обоих режимах его работы. Гравитационный момент при ходьбе выражается:

$$M_{gw} = (0{,}5m_1 + m_{CD})l_1 g \sin\varphi,$$

где m_1 – масса бедра и ортеза, m_{CD} – масса голени и стопы, l_1 - длина бедренного звена, g – гравитационная постоянная, φ –угловая кооордината бедра.

Гравитационный момент при приседании выражается:

$$M_{gs} = (0{,}5m_H - m_{CD} - 0{,}5m_1)l_1 g \sin\varphi,$$

где m_H – масса человека. При этом, известно, что можно принять: $M_{gs} = 3M_{gw}$.

Уравновешивающий момент при ходьбе выражается:

$$M_{bw} = F_{sw}r_1 = (F_{0w} + k\Delta l_{sw})r_1 = (\varphi_{0w} + \varphi)k\pi r_1^2/180,$$

где r_1 – радиус ролика, k - жесткость пружины, Δl_{sw} – рабочее удлинение, F_{sw}- развиваемое пружиной усилие, F_{0w}- предварительное усилие при намотке троса на ролик на угол φ_{0w}. Здесь имеем: $F_{0w} = \varphi_{0w}k\pi r_1/180$, $M_{0w} = F_{0w}r_1 = \varphi_{0w}k\pi r_1^2/180$.

Численный пример. При $m_H = 70$ кг, $m_1 = 10$ кг, $m_{CD} = 4{,}1$ кг, $l_1 = 0{,}4$ м, $r_1 = 0{,}05$ м, получаем: $M_{gw}\,max = 36$ Нм, $k_{max} = 9170$ Н/м, $F_{0w} = 480$ Н, $M_{0w} = 23$ Нм.

Для перевода устройства из одного режима в другой пользователем придется развить усилие, равное 480 кг, или его момент в 23 Нм, что создает значительную сложность, если не сказать, что без специального привода это невозможно.

С целью устранения этой проблемы было предложено новое конструктивное решение устройства с регулирующими ползунами.

1.2. Экзоскелетон с ползунами. Предложенная схема многоцелевого устройства с ползуном и гибкими элементами для ходьбы и приседания человека, отличающаяся от предшествующей регулирующим механизмом,представлена на рис.2.

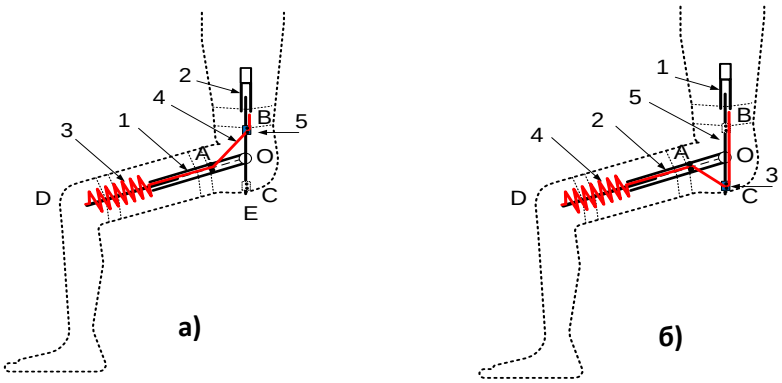


Рис. 2. Схема портативного экзоскелетона с ползунами:
а - при ходьбе, б - при приседании: 1, 2–звенья, 3–пружина, 4–трос, 5–регулирующий ползунный механизм

Здесь, подвижный конец пружины, соединенный с тросом, посредством последнего, проходящего через регулирующий ползун, прикреплен к поясничному звену. Ползун служит для переключения режимов работы устройства, что осуществляется в положении человека стоя, простым перемещением ползуна, без приложения каких-либо ощутимых усилий. Регулировки устройства производятся путем изменений в узле прохождения троса и его предварительного натяжения.

2. Конструкция портативного экзоскелетона с ползунами

На базе предложенной схемы была разработана конструкция макетного образца многоцелевого ассистивного устройства с ползуном и гибкими элементами для поддержания ходьбы и приседания человека, показанная схематически на рис.3.

Заключение. Разработана новая схема регулируемого экзоскелетона, пассивно уравновешивающего тело пользователя при приседании и ходьбе, с использованием ползунных регуляторов режима работы, обеспечивающих легкость переключения. Использование в конструкции цилиндрической пружины растяжения предполагает возможность реализации

точной статической уравновешенности ноги при ходьбе и частичной уравновешенности тела при приседании.

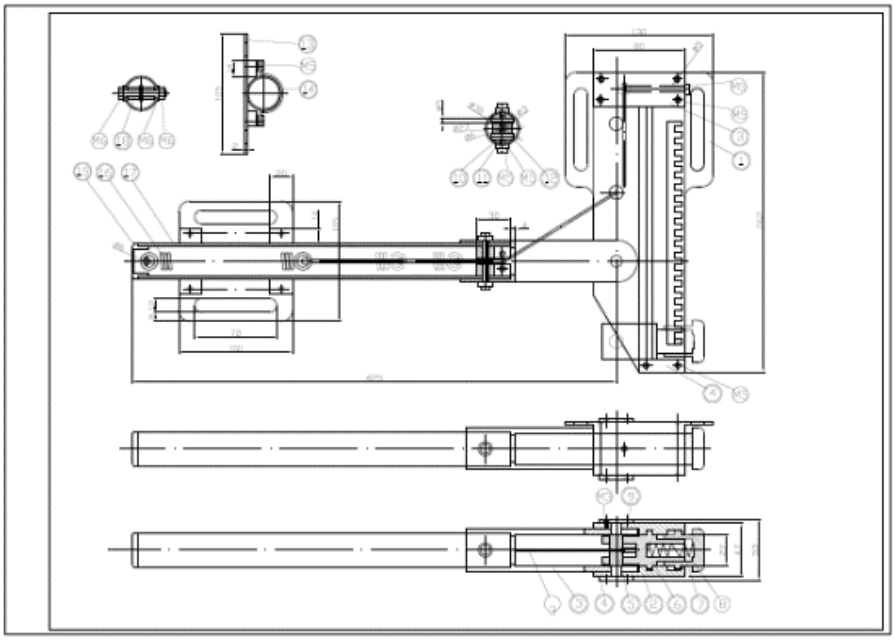


Рис. 3. Сборочная схема портативного экзоскелетона с ползунами манипуляционных устройств с рычажными качающимися звеньями.

Предлагаемое новое устройство может быть применено как для ассистирования опорно-двигательной системе человека, так и его физиотерапии. Более того, предложенный подход к проектированию достаточно универсален и может быть использован при проектировании не только ассистирующих, но и прочих

На последующих этапах продолжающегося проекта предполагается подготовка макетного образца, экспериментальное исследование и испытание предлагаемого устройства.

Работа выполнена в рамках проекта 18T-2D236, финансируемого Государственным комитетом по науке при Министерстве образования , науки культуры и спорта Республики Армения.

Список литературы: 1. Ghazaryan S.D., Harutyunyan M.G., Arakelyan V.H. Design concepts of quasi-static balanced multipurpose exoskeletons // Proceedings of Engineering Academy of Armenia, Issue 16, N 2 - Yerevan, 2013 - pp. 46-50. (Rus.) **2.** Ghazaryan S.D., Arutyunyan M.G. Разработка конструкций портативного ортеза для ходьбы и приседания. // Вестник НПУА. “Механика, машиноведение, машиностроение”. – Ереван, 2017. – N2. – С. 43-52. **3.** Ghazaryan S.D., Arutyunyan M.G. Development of a portable orthosis for human walking and sitting // Proceedings of National Polytechnic University of Armenia. Collection of scientific articles. - Yerevan, 2018. - N2. - p. 435-439 (Rus). **4.** Ghazaryan S.D., Harutyunyan M.G. The Design of Multi-purpose Portable Movable Orthosis // ROMANSY 2018. 22nd CISM IFToMM Symposium on Robot Design, Dynamics and Control, June 25-28, 2018, Rennes, France. - P. 296-303. **5.** Ghazaryan S.D., Harutyunyan M.G., Arakelyan V.H. Design aspects of human movement assistance-rehabilitation means // Proceedings of the 1st International Conference MES-2018 MECHANICAL ENGINEERING SOLUTIONS. Design, Simulation, Testing and Manufacturing. September 17-19, 2018, Yerevan, ARMENIA. **6.** Ghazaryan S.D., Harutyunyan M.G., Zakaryan N.B., Arakelian V. (2020) // Design Concepts for Human Walking and Sitting Wearable Exoskeletons. In: Misyurin S., Arakelian V., Avetisyan A. (eds) Advanced Technologies in Robotics and Intelligent Systems. Mechanisms and Machine Science, vol 80. Springer, Cham. - P. 63-71.

АСИММЕТРИЧНАЯ ПРОКАТКА ЛИСТОВОГО СПЛАВА АЛЮМИНИЯ АА1050

Бахадиров К.Г., Сайдахмедов Р.Х. *(ТГТУ, г.Ташкент, Узбекистан)*
Тел: +998977241152; E-mail: bahadirov@gmail.com

Abstract: *In this paper delivered the results of studies to determine the effect of various types of rolling on the tensile strength of aluminium sheet.*
Key words: *Asymmetric rolling, aluminium alloy, SPD.*

Основной задачей прокатки листового металла является уменьшение его толщины до нужного размера и улучшение механических и других свойств. Прокатка металлов является одним из видов интенсивных методов деформации. В последнее десятилетие предложены несколько видов интенсивных методов деформаций для получения металла со значительно мелкими зернами [1], из них самыми исследованными методами являются равноканальное угловое прессование (РКУП) [2] и прессование с кручением [3]. При пластической деформации, границы зерен действуют как препятствие на движение дислокаций. Это приводит к возрастанию уровня нагрузки для осуществления пластической деформации.

Это означает, что изменение зерен металла до субмикронного размера приведет к значительным улучшениям его механических свойств. Ультра мелкозернистые металлы иллюстрируют супер пластическое поведение [5][6], при определенной скорости и температуре деформации, которое используется с большим спросом в современных производствах.

Метод РКУП используется для получения наноструктурных металлов с высокой равномерной морфологией зерен в виде брусков [2]. Несмотря на то что, с помощью РКУП можно получить ультра мелкие размеры зерен, этот метод ограничивается с малыми размерами образцов. Устранить это ограничение можно путем асимметрической прокатки.

При асимметрической прокатке при соответствующих условиях деформация сдвига располагается по толщине листового материала, которая приведет появлению субзерен и их вращению. В зависимости от количества вложенной деформации асимметричная прокатка может привести к уменьшению размеров зерен и развитию текстуры свойственную к сдвигающему деформацию, которая обычно связано с улучшением формообразуемости листового материала. Это явление изучено с несколькими авторами, используя разные металлы и сплавы также алюминий и его сплавы [7], магний и его сплавы [8] и др.

Ким (Kim) и др. [9] заключают, что идеальная сдвигающая деформация текстуры не получается при использовании односторонней асимметрической прокатки (ASRC). Но, можно получить с помощью с реверсивным направлением асимметрической прокатки (ASRC) в каждом проходе.

Использование асимметрической прокатки для получения мелкозернистых структур металлов является другой мотивацией для его изучения. Это подтверждается исследованиями некоторых авторов [10][11], где применение асимметрической прокатки уменьшит размеры зерен до 2 мкм и меньше.

Изучение деформации грани центрированного кубического (ГЦК) кристалла при разных условиях показал, что кривую напряжения и деформации монокристалла можно разделить на три условные части (Рис. 1). Длина каждой порции зависит от ориентации кристалла, температуры и интенсивности деформации [12].

Для монокристалла, первоначально ориентированного на простое скольжение, (часть I), характерно низкая скорость упрочнения. II часть характеризируется с линейным увеличением скорости упрочнения из за активации других систем

скольжения и увеличения плотности дислокации. В последней, III части деформация после линейного упрочнения протекает по параболе. В процессе динамического восстановления, происходит самоаннулирование (аннигиляция) дислокаций

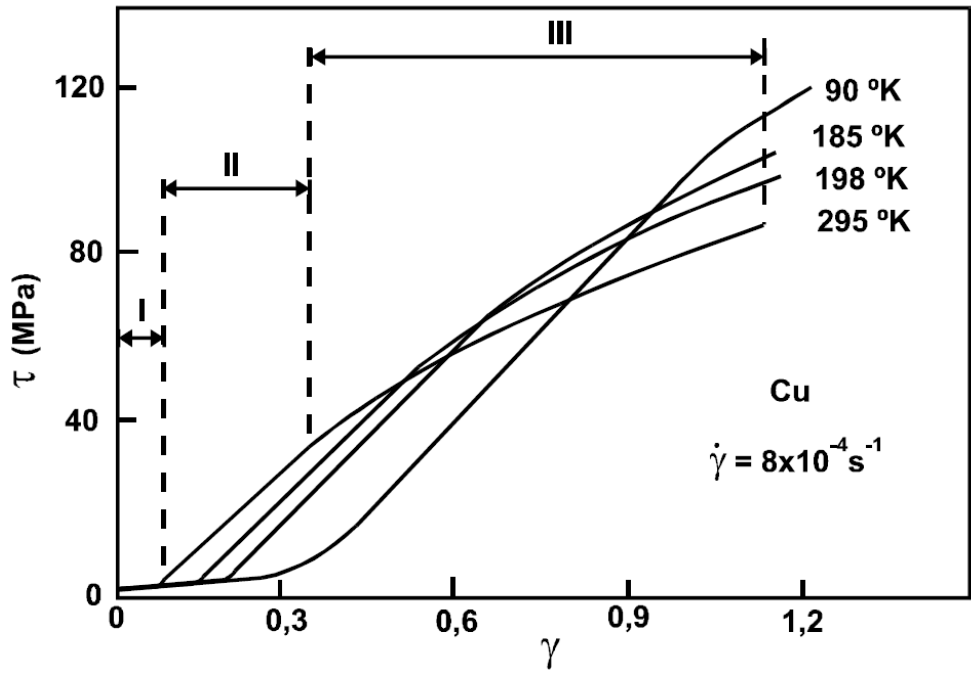


Рис. 1. Кривая нагрузки сдвига (τ)- натяжение, (γ)- монокристалла меди в разных температурах [13], $\dot{\gamma}$ - скорость деформации сдвига

Механические свойства поликристалла зависят от многих факторов, где параметры индивидуальных зерен играют главную роль. Включая их кристаллографические ориентации и локальные взаимодействия между соседними зеренами из-за приложенной деформации.

Одним из самых важных параметров механической характеристики поведения поликристаллических металлов является формообразуемость, последнее определяется как способность на изменение формы при пластической деформации.

Формообразуемость листовых металлов не легкая задача в производстве, где основной целью является изготовление детали со специфическими требованиями к форме, размерам и внешнему виду. Формообразуемость сильно зависит от параметров материала как, кристаллографическая текстура и размеры зерен. Формообразуемость металла, кроме свойств, зависит от некоторых наружных параметров как скорость изменения направления деформации и температуры.

Механические свойства асимметрически и симметрически прокатанных алюминиевых образцов изучались с помощью одноосного испытания на растяжение в разных направлениях листового материала.

Для этой работы выбрано технически чистый листовой алюминий европейского образца 1050 с толщиной 3мм с химическим составом, приведенной на таблице 1.

Таблица 1. Химический состав алюминиевого сплава AA1050

Элементы	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Ni	Zn	Ti	Ga	V
Содержание, %	0,089	0,280	0,002	0,001	0,001	0,001	0,003	0,005	0,011	0,016	0,007

Асимметрическая и симметрическая прокатка листового чистого алюминия

осуществлялись на установке, изготовленной на лабораторных условиях. Устройство имеет два цилиндра с одинаковыми размерами с диаметром 180мм, которые вращаются за счет двух независимых электродвигателей постоянного тока. Скорости вращения цилиндров контролируются, используя компьютер со специальным программным обеспечением. При традиционной прокатке эксперименты проводились при равных скоростях обеих цилиндров 15мин-1. При асимметрической прокатке верхний и нижний цилиндры вращались со скоростью 5мин-1 и 15мин-1, соответственно.

При всех экспериментах прокатки после каждого прохода уменьшение толщины образца составляло 15%. В результате, после 2, 4 и 6 проходов толщины образцов уменьшились на 28%, 48% и 62% соответственно.

Образцы, обработанные при симметричной прокатке (CR) всегда прокатывались в одном направлении. При асимметрической прокатке испытания осуществлялись в двух разных последовательностях: асимметрична последовательная (ASRC) и асимметрично реверсивная (ASRR) прокатки. При ASRC направления прокатки – RD оставался неизменным (Рис. 4, a), а при ASRR образцы поворачивались на 180o вокруг RD после каждого прохода

Механические свойства образцов определялись до и после прокатки с помощью одноосного универсального устройство Shimadzu Autograph с максимальной допускаемой нагрузкой 50кН. Изменение длины и ширины образцов в течение испытаний измеряли используя бесконтактной видео экстензометр марки MFA-25.

Образцы для испытания на разрыв изготавливались шириной 10мм по ASTM (American Society of Testing Materials) на 0o, 45o, 90o от направления прокатки.

При сравнении показателей исходного материала с последовательной (ACRC) и реверсивной (ACRR) прокаткой видно, что имеется значительная разница в механических показателях в течение испытания на разрыв (Рис. 2).

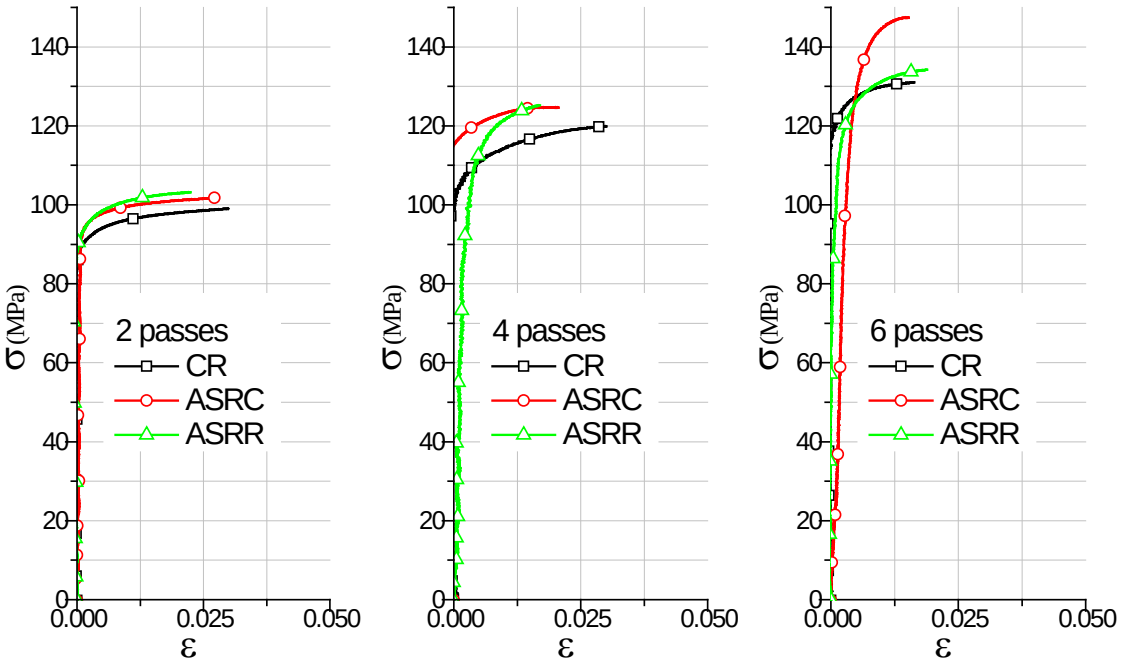


Рис. 2. Кривые истинного напряжения – деформации при 0o от направления прокатки: a) после 2 прокаток (28% редукции); b) после 4 прокаток (48% редукции) и c) после 6 прокаток (62% редукции)

А именно, наблюдается увеличение напряжения, одновременно с сильным

уменьшением толщины листового материала при прокатке. После шести проходов прокатки (которое равняется на 62% редукции) однородная деформация уменьшается более чем на 2% для каждого образца и максимальное напряжение увеличивается до 130-150 МПа в зависимости от угла и испытания на разрыв и вида прокатки.

Необходимо подчеркнуть, что самое большое значение σmax было получено на образцах, прокатанных путем асимметрично последовательным (ASRC) и самое низкое значение на образцах прокатанных традиционным (CR) путем. Причиной этой разницы может являться дислокация и кристаллографическая текстура, введённые в течение деформации при прокатке

ПЭМ изучения показали, что средний размер зерен листового материала до пластической деформации составлял 50 мкм. После 6 проходов симметричной и асимметричной прокаток из-за деформации появились суб-зерна, их средний размер уменьшился до 1-2 мкм и вырос плотность дислокаций в зернах. Надо отметить, что разница в микроструктурах после симметричной и асимметричной прокаток не замечается. Это означает, что не только микроструктура материала имел влияние на механические свойства, дополнительно влияло ориентация зерен, определить которому, надо провести рентгенографические исследования.

Список литературы: 1. Schmitt, J. H., E. L. Shen, et al. (1994). "A parameter for measuring the magnitude of a change of strain path: Validation and comparison with experiments on low carbon steel." International Journal of Plasticity 10(5): 535-551. **2.** Valiev, R. Z. and T. G. Langdon (2006). "Principles of equal-channel angular pressing as a processing tool for grain refinement." Progress in Materials Science 51(7): 881-981. **3.** Zhilyaev, A. P. and T. G. Langdon (2008). "Using high-pressure torsion for metal processing: Fundamentals and applications." Progress in Materials Science 53(6): 893-979. **4.** Lopes, A. L. B. (2001). Análise microestrutural das instabilidades plásticas em materiais metálicos, Aveiro. PhD: 227. **5.** Akamatsu, H., T. Fujinami, et al. (2001). "Influence of rolling on the superplastic behavior of an Al-Mg-Sc alloy after ECAP." Scripta Materialia 44(5): 759-764. **6.** El-Danaf, E. A., M. S. Soliman, et al. (2007). "Enhancement of mechanical properties and grain size refinement of commercial purity aluminum 1050 processed by ECAP." Materials Science and Engineering: A 458(1-2): 226-234. **7.** Hwang, Y.-M. and G.-Y. Tzou (1997). "Analytical and experimental study on asymmetrical sheet rolling." International Journal of Mech. Sciences 39(3): 289-303. **8.** Huang, X., K. Suzuki, et al. (2009). "Microstructural and textural evolution of AZ31 magnesium alloy during differential speed rolling." Journal of Alloys and Compounds 479(1-2): 726-731. **9.** Kim, K. H. and D. N. Lee (2001). "Analysis of deformation textures of asymmetrically rolled aluminum sheets." Acta Materialia 49(13): 2583-2595. **10.** Zuo, F.-q., J.-h. Jiang, et al. (2008). "Shear deformation and grain refinement in pure Al by asymmetric rolling." Transactions of Nonferrous Metals Society of China 18(4): 774-777. **11.** Jiang, J., Y. Ding,et al. (2009). "Mechanical properties and microstructures of ultrafine-grained pure aluminum by asymmetric rolling." Scripta Materialia 60(10): 905-908. **12.** Karaman, I., H. Sehitoglu, et al. (2000). "Modeling the deformation behavior of Hadfield steel single and polycrystals due to twinning and slip." Acta Materialia 48(9): 2031-2047. **13.** Sestak B., (1979) Proc. 5th Int. Conf. On the Strength of Metals and Alloys, Aachen, Germany, p. 1461.

ОСОБЕННОСТИ МИКРОВЫРАВНИВАНИЯ И ФОРМИРОВАНИЯ ШЕРОХОВАТОСТИ ПРИ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОМ ОСАЖДЕНИИ ПОКРЫТИЙ ИЗ СПЛАВОВ Co-W И Fe-W

Бобанова Ж.И., Петренко В.И., Рушика И.Д. *(ИПФ, ТУМ, г. Кишинев, Республика Молдова),*
Тел: +373731725, +373 79502121; e-mail: v_petrenko@phys.asm.md, ion_rusica@mail.ru

Abstract. *The dynamics of surface profile evolution and the leveling power of gluconate and citrate electrolytes used to obtain the Co-W and Fe-W alloys was studied. The leveling power parameter P was calculated according to the results of profilographic measurements of microprofile carried out before and after deposition of the coating on surface. It was shown that deposition of said alloys occurs with preferential coating thickness increase on microprofile peaks and low microlevelling power. Such type of microprofile evolution significantly differs from the process of nickel deposition, when the depressions are predominantly filled and the microrelief is quickly smoothed.*
Keywords: *Electrodeposition, Leveling Power, Co-W, Fe-W, gluconate, citrate, profilografic method.*

Хромовые покрытия широко применяются как защитные, твердые, и износостойкие. Однако высокая токсичность и канцерогенность шестивалентного хрома, низкие выходы по току заставляют искать им замену. Эффективным методом получения покрытий, обладающих повышенной твердостью, износо- и коррозионной стойкостью, является индуцированное соосаждение сплавов вольфрама с металлами группы железа Большой интерес в настоящее время к осаждению таких сплавов обусловлен их специфическими функциональными свойствами, твердостью, сопоставимой с твердостью хрома, но при использовании экологически безвредных электролитов [1]. Осаждение вольфрама (и его сплавов) из водных растворов возможно только при индуцированном соосаждении с металлами группы железа.

Актуальные исследования микрораспределения при электроосаждении металлов и сплавов обусловлены необходимостью создавать покрытия с заданными функциональными свойствами, которые зависят от структурной и химической неоднородности сплавов, возникающих в процессе электролиза, от микрорельефа и толщины покрытий. При осаждении из выравнивающих электролитов шероховатость поверхности покрытияч уменьшается, что позволяет полностью исключить операции чистовой полировки покрытий и повысить экономические преимущества технологического процесса по сравнению с электролитами другого типа. Ранее было показано, что значительное уменьшение роста шероховатости покрытий рассматриваемого типа (вплоть до исходного уровня шероховатости подложки) на гладких образцах возможно только с использованием специальных добавок [2]. Большое внимание уделяется достижению равномерного покрытия и сглаживанию дефектов подложки, как в теоретическом описании особенностей процесса [3], так и в практических исследованиях [4]. Одним из методических приемов исследования динамики микровыравнивания поверхности осаждаемых покрытий является осаждение на подложку с заранее заданным рельефом.

В настоящей работе на образцах с регулярным микрорельефом изучали выравнивающие свойства глюконатного и цитратного электролитов, используемых для индуцированного соосаждения сплавов кобальта или железа с вольфрамом.

Методика. Микровыравнивание неровной поверхности наблюдается, когда влияние омического распределения тока незначительно и происходит при размерах неровностей порядка микрометров или нескольких десятков микрометров. Большое значение имеют микрораспределение потенциала и диффузионные ограничения. В некоторых

случаях, например, когда осаждение происходит на пилообразном профиле или образцах с прорезями, происходит геометрическое выравнивание из-за закрытия слоев, растущих на смежных склонах (стенках) профиля и влияние природы электролита в этом случае не проявляется явно. Для того, чтобы исключить возможность влияния геометрического выравнивания, используют образцы с достаточно плавным профилем без резко выделяющихся элементов вроде щелей или пилообразных выступов.

Микрораспределение покрытия исследовали на образцах с повторяющимся синусоидальным профилем (высота выступов ~ 10 мкм и расстояние между ними ~ 50 мкм). Использовали пластины, вырезанные из никелевой матрицы для формирования граммофонных пластинок. Такая практика часто наблюдается в подобных исследованиях.

По данным профилографических измерений поверхности с помощью профилографа Surtronic 25 (Taylor Hobson) определяли показатель микровыравнивания P электролита как изменение высоты пика микропрофиля поверхности с увеличением средней толщины покрытия. Микрораспределение покрытий из сплавов Co-W и Fe-W изучли в зависимости от плотности тока и состава цитратного и глюконатного электролита. Динамику изменения профиля при увеличении толщины покрытия осаждение оценивали при поэтапном формировании нескольких слоев на одном образце с регистрацией микропрофиля после нанесения каждого слоя. Фиксировали начальный профиль образца, затем образец был обезжирен, очищен, активирован и подвергнут электролизу. После нанесения слоя покрытия, измерения были выполнены снова. Аналогичную процедуру повторяли при нанесении каждого слоя. Использование одного образца позволяет устранить ошибки из-за неравномерной высоты профиля на разных образцах. Большое количество измерений профиля на каждой стадии значительно снижает ошибки из-за роста дендритов или несовершенства процесса осаждения

Полученные профили, высоту пиков анализировали с использованием программы TalyMap Gold 5.0 и рассчитывали параметр P для каждой стадии. По результатам профилографических измерений оценивали микровыравнивающую способность P по формуле

$$P = -\frac{a}{2\pi d_m} ln\frac{H_t}{H_0}$$

где a - длина волны профиля, d_m - средняя толщина покрытия, H_0 - начальная высота выступа (разность высот вершины пика), H_t - текущая высота пика.

Сплавы Co-W и Fe-W осаждали при плотности тока 1, 2 и 5 А / дм^2 в гальваностатическом режиме из различных цитратных и глюконатных электролитов. Концентрация прекурсоров (солей Co, Fe и W - компонентов осаждаемых сплавов) варьировалась от 0,05 М (как в широко используемом электролите [6]) до 0,25 М. В качестве эталона сравнения осаждали никель из электролита Уоттса на такой же профиль. Морфологию и средний химический состав покрытия на различных участках микропрофиля изучали с помощью сканирующего электронного микроскопа TESCAN VEGA и системы определения элементного состава INGA Energy EDX.

Результаты и обсуждение. Высокая выравнивающая способность электролитов - это способность образовывать покрытие со сглаженным микропрофилем. Когда сплавы осаждаются из цитратных и глюконатных электролитов с образованием комплексных соединений (с высокой молекулярной массой [5]) при наличии диффузионных ограничений, реализуются комбинированные типы микрораспределения, в отличие от осаждения чистого никеля.

Расчет выравнивающей способности P на основе профиллографмческих исследований показал что в большинстве случаев сооосаждения сплавов Co и Fe с W, происходит увеличение высоты выступов профиля и для них P<0, что свидетельствует о плохих выравнивающих свойствах электролитов (P от -0,13 до 0,06.) и которые показывают слабое выравнивание лишь при достаточно **больших толщинах** осадка.

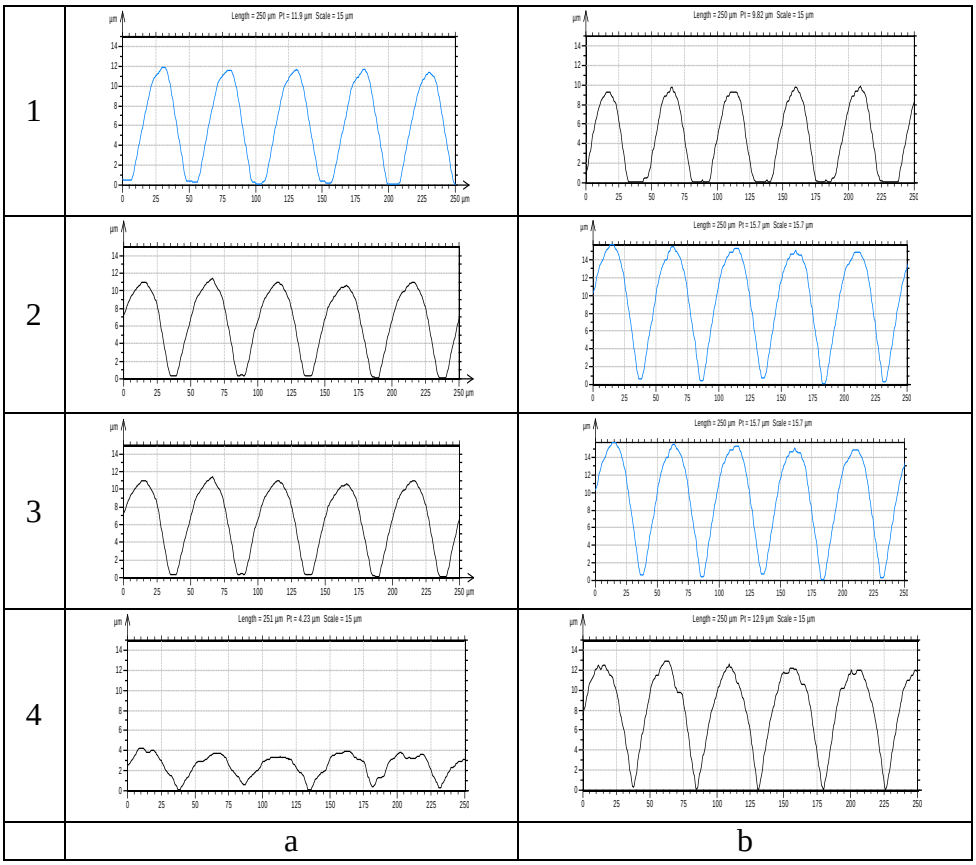


Рис 1. Динамика изменения высоты профиля при нанесении никеля (a) и Co-W (b). 1. Исходный профиль; 2. 1 слой (толщиной 20 мкм); 3. 2 слоя (общая толщина 40 мкм); 4. 3 слоя (общая толщина 60 мкм)

Динамика изменения профиля никелевых покрытий показывает, что высота выступов стабильно и быстро снижается (рис. 1a), что отражается на величине P (рис. 2). Но при осаждении Co-W покрытий высота профиля вначале растет (рис.1) и лишь при достаточной толщине высота выступов снижается и соответственно растет P (рис. 3). Глюконатные электролиты обеспечивают лучшее выравнивание, чем цитратные (рис. 3). Однако в отличие от осаждения никеля с последовательным сглаживанием (рис. 1 и 2) во все случаях изменение профиля проходит через этап резкого увеличение высоты и от этого осаждение происходит с низким значением P.

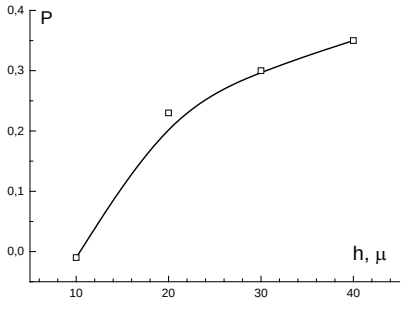
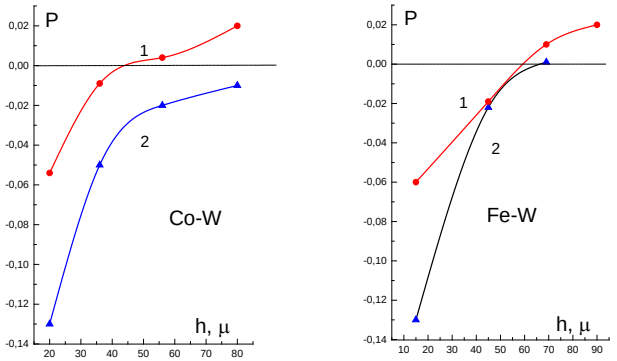


Рис. 2. Изменение P при осаждении никеля из электролита Уоттса при i = 2 А/дм^2

При осаждении Co-W и Fe-W покрытий из разбавленных глюконатных электролитов изменяется характер микрораспределения сплава, в эволюции микропрофиля появляются эффекты положительного (P>0) и отрицательного выравнивания (P<0) При P > 0 наблюдается преимущественный рост осадка в канавке по сравнению с микровыступом. Повышение концентрации компонентов металла и плотности тока влияют на выравнивающую способность глюконатных электролитов.. При увеличении концентрации солей осаждаемых металлов до 0,25 М осадки Co-W сплавов и повышении i до 5 А/дм^2 осаждение обоих компонентов сплава сплавов Co-W происходит преимущественно на микроуглублениях профиля и выравнивающие свойства электролита улучшаются. Рассчитанная величина выравнивающей способности P

возрастает от значений -0,006 до 0,1 с увеличением толщины покрытия. Для сравнения никелевые покрытия имеют значения Р от 0,001 до 0,35, и сглаживание микронеровностей происходит уже при толщине осадка - 30 мкм.

Повышение плотности тока усиливает сглаживание (рис. 4). Осаждение Fe-W покрытий из цитратных электролитов тормозится и практически не происходит. В этом случае толщина покрытия колеблется от 4 до 5 мкм для каждого слоя и незначительно увеличивается только на выступах профиля, рассчитанная выравнивающая способность изменяется от+ 0,13 до 0,001. Это вероятно связано с образованием на катоде фазовой пленки, состоящей из гидроксидных соединений металлов, образующихся при подщелачивании приэлектродного слоя в процессе электролиза.

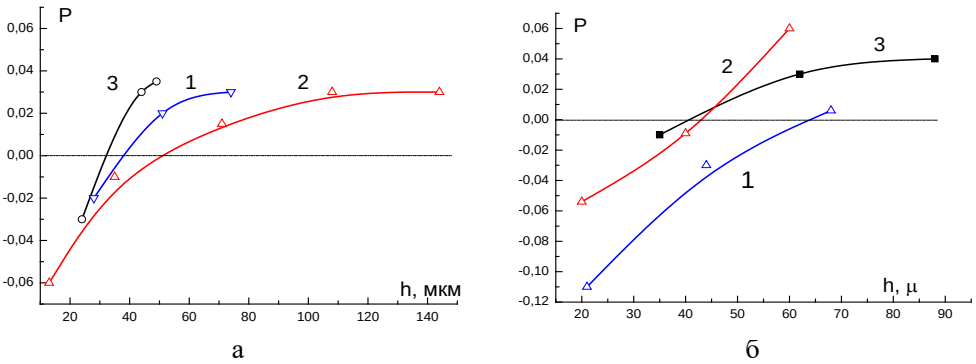


а б

Рис. 3. Зависимость параметра выравнивания от толщины осадка при осаждении сплавов из глюконатного (1) и цитратного(2) электролитов при i = 2 А/дм^2

При осаждении сплавов на поверхности появляются микронеровности и структурные несовершенства, что формирует кристаллическую шероховатость. В силу этого возникает преимущественный рост осадка на выступах, сужение впадины и общее увеличение высоты выступа профиля. (Рис. 5). С ростом толщины осадка происходит заполнение впадины и сближение склонов выступа и начинается выравнивание. Такой тип формирования покрытия может быть связан с разными скоростями диффузионных процессов на выступах и впадинах. Тип образований зависит от плотности тока осаждения.

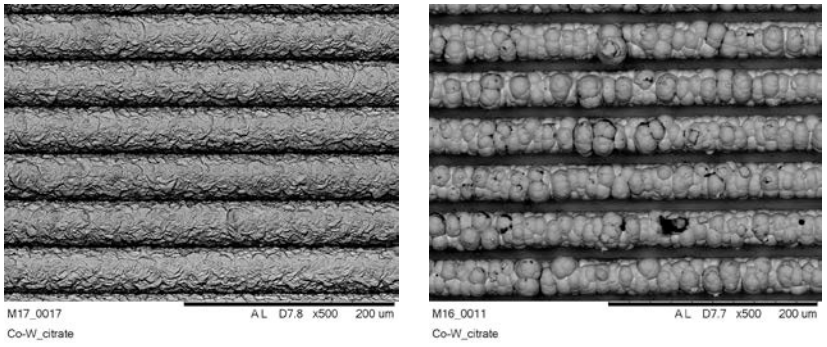
При осаждении сплавов на поверхности появляются микронеровности и структурные несовершенства, что формирует кристаллическую шероховатость. В силу этого возникает преимущественный рост осадка на выступах, сужение впадины и общее увеличение высоты выступа профиля. (Рис. 5). С ростом толщины осадка происходит заполнение впадины и сближение склонов выступа и начинается выравнивание. Такой тип формирования покрытия может быть связан с разными скоростями диффузионных процессов на выступах и впадинах. Тип образований зависит от плотности тока осаждения.



а б

Рис. 4. Зависимость параметра выравнивания от толщины осадка Co-W из разбавленного (а) и концентрированного (х5) (б) глюконатных электролитов при i, А/дм^2: 1 – 1; 2– 2; 3 – 5

Изучаемые сплавы имеют в основном неоднородный химический состав по микропрофилю. Локальный химический состав на микровыступах и микроуглублениях отличается от усредненного состава по поверхности, что может влиять на химическую и структурную неоднородность сплавов по микрорельефу покрытий. Увеличение концентраций солей кобальта до 0,25 М способствует постоянству химического состава на всех участках микропрофиля. Неравномерное микрораспределение обусловлено с одной стороны неравнодоступностью микропрофиля в диффузионном отношении, а с другой стороны – наличием диффузионных ограничений скорости процесса осаждения сплавов, что является причиной того, что парциальные скорости компонентов изменяются вдоль микропрофиля в неодинаковой степени.



a b

Рис. 5. СЭМ-фотографии сплавов Co-W осажденных при: а) i = 1 А/дм^2; б) i = 5 А/дм^2

При осаждении никелевых покрытий из электролита Уоттса распределение по микропрофилю является более равномерным и однородным по химическому составу по сравнению с осаждением сплавов Co-W и Fe-W. Значение Р достигает значений 0,3-0,4, т.е. происходит сглаживание микронеровностей уже при толщине осадка ~ 30 мкм., что характеризует хорошие выравнивающие свойства электролита никелирования. Преимущественный рост осадка никеля происходит в канавках, В этих условиях профиль постепенно сглаживается и переходит в более пологий синусоидальный.

Выводы.

1. При осаждении Co-W и Fe-W сплавов происходит преимущественное увеличение высоты выступов и лишь при достаточно толстых осадках (в несколько раз превышающих исходную высоту профиля) наблюдается сглаживание профиля. Микровыравнивание профиля наблюдается в случае осаждения никеля с самого начала процесса.

2. Повышение микровыравнивающей способности электролитов для индуцированного соосаждения сплавов кобальт-вольфрам возможно лишь при использовании специальных добавок.

3. Распределение элементов сплава по поверхности осадка происходит неравномерно и не связано с характерными (выступ-впадина) участками профиля.

4. Профилографический метод исследования микровыравнивания позволяет значительно сократить усилия по получению информации об изменении профиля (в отличии от метода с получением поперечных шлифов) и дает возможность получения больших статистических массивов данных

Финансовая поддержка настоящей работы обеспечивалась по Национальному проекту Молдовы (№ 15.817.02.05.A)и европейскому проекту HORISON 2020 Smartelectrodes (778357).

Список литературы: 1. N. Tsyntsaru, H. Cesiulis, et al, Surf. Eng. Appl. Electrochem, 48 (2012) 491-520. **2.** Zh. I. Bobanova, V. I. Petrenko, et al, Surf. Eng. Appl. Electrochem. 47 (2011) 493-503. **3.** Yu. D. Gamburg A. D. Davydov, Yu.I. Kharkats, Russian Journal of Electrochemistry 30, No. 4, 194, pp. 377 - 398. **4.** S. S. Kruglikov, Russian Journal of Electrochemistry 37 (2001) 657-660. **5.** S.S. Belevskii, V.A. Buravets, S.P. Yushchenko, A.I. Dikusar. Surf. Eng. Appl. Electrochem., 52 (2016) 350-355. Part II. Surf. Eng. Appl. Electrochem. 2016, Vol. 52, N 5, pp 420-426. **6.** P.P.Weston, S.J.Harris et al Electrochimica Acta, 55 (2010) 5695-5708.

ПОДХОД К БЕСПРОВОДНОЙ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ В МУЛЬТИПРОЦЕССОРНЫХ СИСТЕМАХ ДЛЯ ПЕРЕМЕЩАЕМЫХ ОБЪЕКТОВ ПРИЕМА-ПЕРЕДАЧИ

Борзов Д.Б., Сизов А.С., Дюбрюкс С.А. (*ЮЗГУ, г. Курск, Россия***)**
Тел./Факс: +79192736700; E-mail: borzovdb@kursknet.ru

Abstract: *Development of an approach to wireless data transmission with the ability to take into account the movement in space of transmit-receive objects, which provides increased productivity of multiprocessor systems and a decrease in the total value of communication delay.*
Keywords: *Processor, allocation, wireless transmission, protocol, Wi-Fi*

При построении вычислительных систем (ВС) возникает проблема совместимости архитектуры ВС со структурой обрабатываемых задач [3]. Это проявляется в выполнении поставленных задач (программ, файлов, данных и т.д.) для определенного класса алгоритмов и методов ВС. В случае не соответствия друг другу структуры задания и архитектуры системы, происходит минимизация производительности всей ВС.

При построении вычислительных систем используют различные виды топологий, соотносящихся с определенным классом алгоритмов. В случае беспроводной передачи данных необходимо также учитывать особенности выбранного метода размещения задач для достижения максимальной производительности ВС.

Мультипроцессорная система, состоящая из множества процессорных объектов (ПО), представляется неориентированным графом $G=(V,R)$, где V – множество ПО, R – ребра графа [2]. Пример графа системы представлен на рисунке 1.

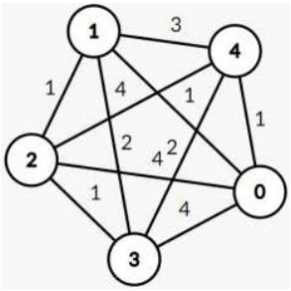


Рис. 1. Пример графа системы

На рисунке 1 круги обозначают ПО, числа в них – идентификатор ПО, ребра графа показывают связи между ПО, цифры над дугами показывают эквиваленты расстояний между ПО.

Например, система, показанная на рисунке 1, определяется множеством $v=\{1,2,3,4,5\}$, а множество $R=\{1,4,3,1,1,2,3,1,4,2\}$.

Сила сигнала и канал, но котором работает ПО, указующая на предпочтительный ПО, использует показатель коэффициент расстояния (КР) и определяется [3]:

$$KP=-F\cdot RSSI, \quad (1)$$

где F – номер, присвоенный каналу, RSSI – значение силы сигнала.

Пусть, например, $R=\{68,328,308,213,73,260,201,120,189,264\}$.

Тогда по данным из V и R получаем матрицу смежности $A_{5\times5}$, где элементы a_{ij} – значения множества R:

$$A=\begin{pmatrix} 0 & 63 & 328 & 308 & 213 \\ 63 & 0 & 73 & 260 & 201 \\ 328 & 73 & 0 & 120 & 189 \\ 308 & 260 & 120 & 0 & 264 \\ 213 & 201 & 189 & 264 & 0 \end{pmatrix}. \qquad (2)$$

Назовем (2) – матрицей расстояний (МР).

Среди множества процессорных модулей выбираем процессорный модуль – мастер. В его функции входит.

– отслеживание изменений в архитектуре ВС;

– распределение вычислительных задач для уменьшения временных затрат;

– опрос внешнего источника (сервера, суперкомпьютера, кластера, базы данных и т.п.) на наличие заданий;

– распределение полученных задач на процессорные модули, включенные в систему в момент времени t.

Задания приходят мастеру в виде массива:

$$\mathrm{Task}[N]=\{\{p_k;v_k\}\ldots\{p_k;v_k\}\}, \qquad (3)$$

где p_k – связь с другой задачи из массива, k – номер задачи равный $\overline{1,n}$, v_k – объем данных задач.

Например, Task [5] = {{1;10}, {1;15},{3;10}, {4;8},{3;5}}. По данному массиву известно, что задачи 1-2 и 3-5 связаны друг с другом, а задача 4 не зависит от других элементов массива.

Массив заданий представляется множествами:

- P мощностью |P| = N;
- V с мощностью |V| = N.

По массиву Task [5] получаем:

- P = {1,1,3,4,3},
- V = {10,15,10,8,5}.

Множества записываются в виде матрицы V объемов заданий (МОЗ) и P – матрицы связей (МС):

$$P=\begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \end{pmatrix},\ V=\begin{pmatrix} 10 & 15 & 10 & 8 & 5 \\ 15 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 10 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 8 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 5 & 0 & 1 & 0 & 0 \end{pmatrix}. \qquad (4)$$

МОЗ показывает какой программный модуль является мастером, что определяется по не нулевому столбцу или строке. В (4) мастер – первый ПМ. Так же матрица V показывает первоначальное размещение ПО, а МС определяет связь между задачами. Если $v_{ij}=1$, то задача с порядковым номером i связана с задачей под номером j.

Для работы динамической мультипроцессорной системы необходимо определить ее конечное состояние и систему критериев.

Пусть конечное состояние системы – это состояние, при котором мастер начинает распределять задачи, обозначенные как $S_t(N)$, где N – количество ПО, t – время ожидания построения системы, которое определяется соотношением $[t_{min}; t_{max}]$. Здесь t_{min} – минимальное время ожидания, t_{max} – максимальное время ожидания.

ПМ соединяются средствами протокола Fi-Fi. В этом случае на одну точку доступа теоретически можно подключить 254 устройства. Так как предполагается, что все устройства работают в режиме Ad-Hoc, то количество устройств не устанавливается, а варьируется от 3 до 254.

Конечное состояние системы – это набор ее свойств, при котором можно начинать размещение и само состояние, записываемое системой:

$$S_t(N) = \begin{cases} t=t_{ук},\ t_{min} < t_{ук} < t_{max} \\ N=N_p,\ 3<N_p<254 \\ A_{N\times N},\ a_{ij} \in КР \end{cases}. \qquad (5)$$

Для минимизации времени выполнения задания, необходимо сократить время пересылки данных от мастера к ПО, ответственному за выполнение. Тогда скорость передачи данных С зависит от расстояния между источником и приемником:

$$КР \to 0 \Rightarrow C \to C_{раб} \qquad (6)$$

Время передачи данных рассчитывается по формуле:

$$t_{передачи} = \frac{V}{C}, \qquad (7)$$

где V – объем передаваемых данных, С – скорость передачи данных.

Тогда из (7) следует, что $C \to C_{раб}$, $V \to V_{min}$. Следовательно, $t_{передачи} \to t_{min}$.

Так как объем данных $\{v_{ij}\}$ – постоянная величина, то уменьшение времени передачи обеспечивается передачей мастером наиболее объемных задач процессорным модулям. При этом КР в матрице расстояний является наименьшим. Это говорит о наибольшей скорости передачи данных. Например, если в (4) мастером является 1 процессорный модуль, то задачу с весом 15, он назначает себе, а задачу с весом 10, можно распределить на 0 и 3 ПО. Таким образом, при распределении задач, мастер может учитывать объемы данных, КР ПМ и связность задач.

По завершению задачи, ПО либо отправит данные инициатору (серверу, базе данных, кластеру и т.п.) задания, либо передаст данные другому ПО, которому для выполнения полученного задания, требуется результат выполнения текущей задачи.

При построении реконфигурируемой вычислительной системы критического назначения необходимо выполнить действия, направленные на составление матрицы расстояний A_{NxN} и выбор мастера. МР содержит информацию о расстоянии между процессорными модулями, а мастер отвечает за запрос и размещение задач процессорным модулям, входящим в систему на текущий момент времени.

Поэтому мастер выбирается из условий:

1) $r=\min\left\{\sum_{i,j=0}^{N} r_{i,j}\right\}$, где N – количество ПМ, r_{ij} – значение МР.

2) $r_n = \mathrm{count}\left(r_{max}\right)$ – максимум в строке r пари выполнении условия $r_м < r_n$.

3) $G_M > G_{ПМ}$, где G_M – коэффициент усиления антенны мастера, $G_{ПМ}$ – коэффициент усиления антенны процессорного модуля, претендующего на роль мастера.

Здесь первое условие является необходимым и достаточным, а второе и третье условие используются как дополнительные, если первое условие не выявило мастера.

Таким образом, обобщенный алгоритм выбора мастера состоит из следующих шагов:

1. По каждой строке матрицы расстояний (МР) считается сумма и высчитывается максимум во всей МР.

2. Из полученных сумм выбирается минимальная. Если минимальных сумм несколько, то присутствует несколько претендентов на роль мастера, и в этом случае проверяется следующее условие.

3. Для устройств, где сумма по строке в МР минимальна, считается количество максимумов, найденных на первом шаге после чего данный показатель сравнивается. При этом наименьший максимум показывает мастера. Если же и это не выявило мастера, то выполняется четвертый шаг.

4. Для устройств, у которых минимум максимумов в строке, сравнивается коэффициент усиления антенны. Устройство с самым большим коэффициентом усиления показывает мастера.

Таким образом, методика построение реконфигурируемой критической вычислительной системы состоит из следующих шагов:

1. За время ожидания в системе фиксируется количество активных устройств.

2. Составляется матрица расстояний из КР.

3. Выбирается мастер.

Так как процессорные модули работают в режиме точки доступа, то на первом шаге каждому устройству, подключающемуся к системе, присваивается идентификатор, уникальный в приделах действия мультипроцессорной системы.

На протяжении времени ожидания процессорные модули обмениваются служебными пакетами, содержащими идентификаторы ПМ, коэффициент усиления антенны и массив информации.

В дальнейших исследованиях предполагается разработка метода, алгоритма и специализированного устройства беспроводной передачи данных с учетом возможного перемещения объектов приемо–передачи.

Список литературы: 1. Головкин Б.А. Параллельные вычислительные системы. – М.: Наука, 1980. – 520 с. **2.** Оре О. Теория графов. – М.: Наука, 1968. – 352 с. **3.** Марчуков, А. В. Беспроводные информационные сети. – Томск : Из-во Томского политехн. ун–т, 2009. – 84 с.

КОЛЕБАНИЯ ФИЗИЧЕСКИ НЕЛИНЕЙНЫХ СТЕРЖНЕВЫХ СИСТЕМ ПРИ ДИНАМИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЯХ

Бохонский А.И. (*СевГУ, г. Севастополь, Россия) E-mail: bohon.alex@mail.ru*

Abstract: *The vibrations of elastoplastic systems with a finite number of degrees of freedom under complex dynamic effects, including seismic, are investigated*
Keywords. *Elastoplastic systems, degrees of freedom, dynamic effects, seismic effects.*

Исследованию упругопластических систем посвящены, например, работы [1-10], в которых не только выявлены динамические свойства систем, но и даны приложения по расчету рам, испытывающих горизонтальные и вертикальные составляющие сейсмического воздействия при развитии пластических деформаций.

Особое место занимает задача потери динамической устойчивости многоэтажных каркасных рамных конструкций при одновременном учете горизонтальной и вертикальной составляющих сейсмического воздействия и накоплении остаточных перемещений за счет развития пластических деформаций [6].

В [7] обосновано использование пластических связей-ограничителей в системе сейсмоизоляции зданий, показано, что пластическое деформирование приводило к снижению ускорений в физически нелинейной системе. Одностороннее накопление пластических деформаций приводило к появлению на фазовой плоскости неустойчивых фокусов и блуждающих центров, как предвестников потери статической и динамической устойчивости сооружений [8-9].

Целью исследований является анализ колебаний упругопластической системы при динамических воздействиях.

Упругопластическая система. Резонанс. Представляет интерес анализ колебаний упругопластической системы при резонансе (обычном и параметрическом). Для нелинейности гистерезисного типа не удавалось непосредственно использовать стандартную программу численного интегрирования уравнения движения.

На рисунке 1 изображена схема переносного движения (по осям X и Y) системы с упругопластическим шарниром в точке O_1. Дифференциальное уравнение относительного движения представляет собой уравнение вращения вида:

$$J\frac{d^2\varphi}{dt^2} = -M(\varphi) + m\cdot(g+\ddot{y}_e)\cdot L\cdot\sin\varphi - m\cdot\ddot{x}_e\cdot L\cdot\cos\varphi, \qquad (1)$$

где $J = m\cdot L^2$ – момент инерции сосредоточенной массы (стержень невесомый); m – сосредоточенная масса; φ – угол поворота; $M(\varphi)$ – упругопластический момент в точке O_1; L – длина стержня; $\ddot{y}_e$ – вертикальное ускорение переносного движения сосредоточенной массы в связи с переносным движением; $\ddot{x}_e$ – горизонтальное ускорение переносного движения.

Если перемещения малы, т.е. $\sin\varphi \approx \varphi$ и $\cos\varphi \approx 1$, $\phi \approx x/L$, то из (1) следует:

$$\frac{d^2x}{dt^2} + \frac{1}{m}\cdot Q(x) - (\frac{g+\ddot{y}_e}{L})\cdot x = -\ddot{x}_e, \qquad (2)$$

где $Q(x)$ - сила, отражающая упругопластическое деформирование. Для системы с одной степенью свободы (рисунок1) при численном интегрировании уравнения (2) использовались исходные данные: $\ddot{x}_e = A\sin(\omega t+\alpha)$, $\ddot{y}_e = B\sin(\omega 1t+\alpha 1)$, $m = 4000кг.$,

$Q_0 = 8000H$, $c = 8\cdot 10^5{}_{Н/м}$, $\alpha = 0$, $\alpha 1 = \pi/2$, $L = 3м$, $A = 8$ $м/с^2$, $B = 20A$ $м/с^2$, $\omega 1 = 2\omega$, $\omega = \sqrt{c/m} = 14с^{-1}$.

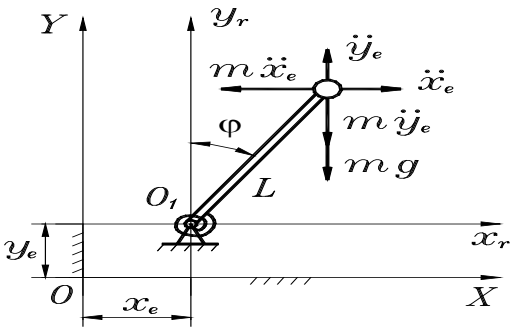


Рис. 1. Схема движения системы с одной степенью свободы с упругопластическим шарниром в точке O_1

В уравнении движения принято: A, B – амплитудные значения гармонического воздействия; ω, $\omega 1$ – частоты гармонического воздействия. Графики поведения системы в резонансном режиме изображены на рисунке 2.

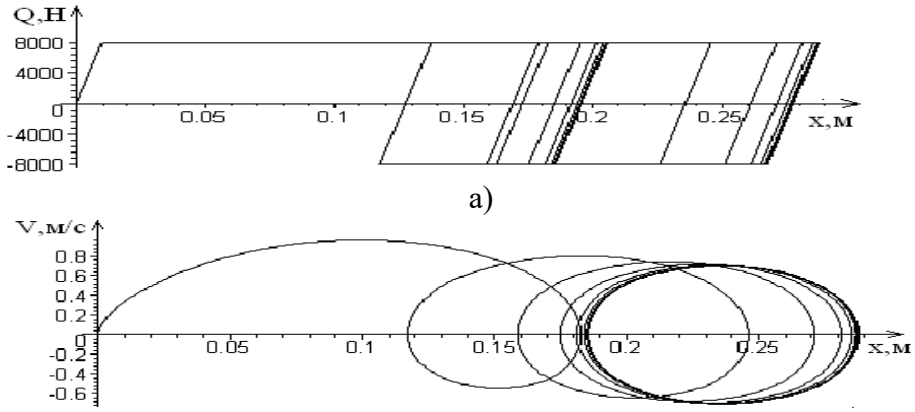
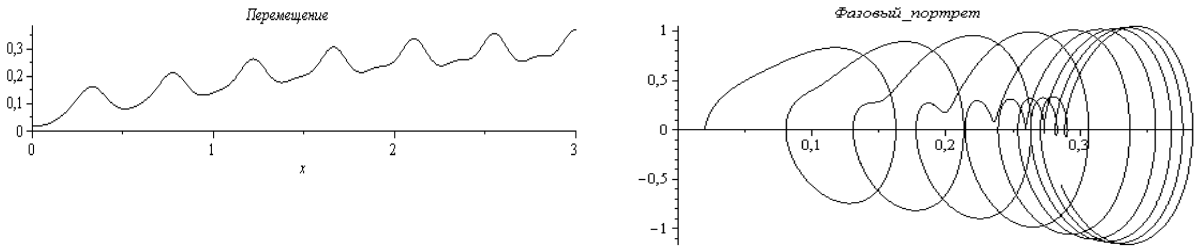


Рис. 2. Резонанс в упругопластической системе: а) график Q=Q(x); б) фазовый портрет- график V=V(x)

Из рисунка 2 следует, что с течением времени в упругопластической системе наблюдаются устойчивые колебания около нового положения равновесия, причем перемещение и скорость в несколько раз меньше, чем в линейной системе. Графики, отражающие потерю динамической устойчивости, изображены на рисунках 3.



а) Горизонтальное перемещение системы при потере устойчивости

б) Фазовый портрет потери устойчивости упругопластической системы

Рис. 3. Потеря динамической устойчивости в физически нелинейной системе

Многоэтажные рамы. Для многоэтажных рамных конструкций с ригелями большой жесткости, когда фактически междуэтажные перекрытия можно считать абсолютно жесткими дисками, упрощенная динамическая модель изображена на рисунке 4.

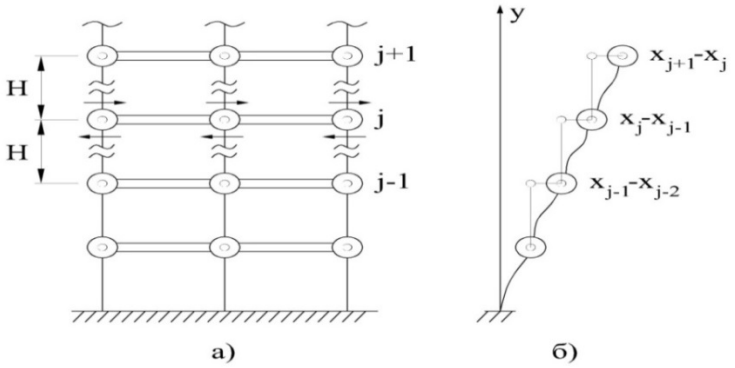


Рис. 4. Многоэтажная рама: а) схема рамы; б) упрощенная динамическая модель

Уравнения горизонтального перемещения этажей с индексом j при учете линейно-вязкого сопротивления (рисунок 4) представимы в виде

$$\ddot{x}_j + (Q_j - Q_{j-1}) / m_j + 2\varepsilon(\frac{dx}{dt}_j - \frac{dx}{dt}_{j-1}) + \ddot{x}_0 = 0 \ , \qquad (3)$$

где m_j – сосредоточенная масса с индексом j; Q_j – восстанавливающие силы как функции перемещений этажей; ε – коэффициент затухания; $\ddot{x}_j$ – ускорение этажа с индексом j; $\ddot{x}_0, \ddot{v}_0$ – ускорения, которые могут представлять собой акселерограммы землетрясений. Для восстанавливающих сил с учетом собственного веса этажей и вертикальной компоненты динамического воздействия получены выражения:

$$Q_{j-1} = Q^0_{j+1} - (x_{j+1} - x_j)(g + \ddot{v}_0) \ m_{j+1}(n-j)/H \ ,$$
$$Q_j = Q^0_{j+1} - (x_{j+1} - x_j)(g + \ddot{v}_0) \ m_j(n-(j-1)/H \ .$$

Восстанавливающие силы стоек в отсутствии продольных сил при учете пластических деформаций они подчинены диаграмме В. Прандтля. Согласно диаграмме справедливы условия: $Q^0_j = Q^0_j + c(x_j - x_{j-1})$. *Если* $Q^0_j \geq Q^*_j$, *то* $Q^0_j = Q^*_j$.

Если же $Q^0_j < Q^*_j$, *то* $Q^0_j = -Q^*_j$. c – коэффициент жесткости; Q^*_j – предельная восстанавливающая сила.

Выводы.

При обычном резонансе в линейной системе происходит более интенсивная раскачка по сравнению с параметрическим резонансом. На заданном конечном временном интервале движения линейной системы ускорение при обычном резонансе на порядок и более может превосходить максимальное ускорение, возникающее на этом же промежутке времени при параметрическом резонансе. Упругопластическая система в случае резонанса (на упругом участке деформирования) асимптотически устойчива, установившиеся колебания происходят около нового положения равновесия.

Ускорение в упруго-пластической системы существенно меньше. Если в линейной системе не учитывать вязкое сопротивление, то в ней за минимальное время достигается ускорение, которое значительно превосходит ускорение в упругопластической системе. При учете линейно-вязкого сопротивления в упругопластической системе в резонансном режиме наблюдается движение около нового положения равновесия.

В связи с интенсивным строительством многоэтажных каркасных зданий в сейсмически опасных районах представляют практический интерес исследования по оценке резервов несущей способности таких типов зданий с учетом возможного

развития пластических деформаций при интенсивных сейсмических воздействиях. Нельзя не отметить, что в многоэтажных здания разрушение железобетонных перегородок на нижних этажах означает отступление от проекта. В случае значительной вертикальной составляющей сейсмического воздействия с нарушением пространственной жесткости здания происходит перераспределение внутренних усилий (от собственного веса) и, в конечном счете, снижение проектной сейсмостойкости.

Список литературы: 1. Бернштейн С.А. Основы динамики сооружений / С.А. Бернштейн. – М-Л.: Госстройиздат, 1938. – 160 **2.** Дикович И.А. Динамика упругопластических балок. М.: Судпромгиз, 1962. – 292с. **3.** Бохонский А.И. Деформации упругопластической системы при сейсмическом воздействии. Респ. межвед. науч.-техн. сб. Сопротивление материалов и теория сооружений. Вып. XXV. Изд-во "Будівельник", К.: 1975. – С. 77-81. **4.** Бохонский А.И. Деформации упругопластической системы при учете горизонтальной и вертикальной составляющих сейсмического воздействия // А.И. Бохонский / Реферативный сборник. Сейсмическое строительство. Отечественный и зарубежный опыт. – Цент. ин-т науч. инф. по строительству и архитектуре. Вып. 5. – М.: 1974. – С. 46-49. **5.** Бохонский А.И. Модели упругопластического деформирования стержней // А.И. Бохонский, А.В. Исаев / Вестник СевГТУ. Вып. 80: Механика, энергетика, экология. – Севастополь: Изд-во СевНТУ, 2007. – С. 15-19.. **6.** Бохонский А.И. Деформации упруго-пластической системы при учете горизонтальной и вертикальной составляющих сейсмического воздействия. Реферативный сборник Сейсмостойкое строительство. Отечественный и зарубежный опыт. Вып. 5. ЦИНИСА Госстроя СССР, М., 1974. – С. 46-49.**7.** Бохонский А.И. Применение пластических связей-ограничителей в системе сейсмозащиты зданий. Реферативный сборник Сейсмостойкое строительство. Отечественный и зарубежный опыт. Серия XIV. Выпуск 4 ЦИНИСА Госстроя СССР, М., 1978.–С. 31-35. **8.** Бохонский А.И. Крутильно-поступательные перемещения упругопластических систем. Серия 13.59.Строительство в особых условиях. Сейсмостойкое строительство. Вып. 1. ВНИИИС Госстроя СССР, М.,1983. – С.21-24. **9.** Бохонский А.И. Железняк В.Г. Анализ реакции плавучей буровой установки на сейсмическое воздействие. Серия 14. Строительство в особых условиях. Сейсмостойкое строительство. Вып. 1. ВНИИИС Госстроя СССР, М.,1984. – С.25-27. **10.** Бохонский А.И., Варминская Н.И. Анализ кинематической модели В. Прагера при описании изгибно-крутильных деформаций упругопластических систем. Прикладные задачи математики: Материалы XXVI междунар. научно-техн. конф. Севастополь, 17-21 сентября 2018г. СувГУ. – Севастополь, 2018. – С. 58-61.

ОСОБЕННОСТИ РЕШЕНИЯ ЛИНЕЙНЫХ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЙ ДИНАМИКИ УПРУГОЙ СИСТЕМЫ

Бохонский А.И. (*СевГУ, г. Севастополь, Россия) E-mail:* bohon.alex@mail.ru

Abstract: *The analysis of solutions of the differential equations of free vibrations of an elastic object with two degrees of freedom using application software packages (Maple, Mathcad, Mathlab, Simulink) is presented.*

Key words: *linear system, differential equations, integration methods, application packages.*

Теории колебаний линейных систем с конечным числом степеней свободы посвящена литература [1-6], в которой приведены точные аналитические решения дифференциальных уравнений.

Цель исследований – анализ методики поиска точного решения уравнений динамики линейных систем с двумя степенями свободы типа «объект - гаситель».

В настоящее время, с достигнутым уровнем математического обеспечения современных компьютеров, предоставляется возможность исключить процедуру предварительного вычисления коэффициентов связи между амплитудами, реализуя совместно начальные условия с уравнениями для амплитуд. В случае, например, двух степеней свободы образуется система из шести уравнений, в которой не используются параметры v_{21}, v_{22}, v_{21}, v_{22}, а неизвестными являются непосредственно четыре амплитуды и два угла сдвига.

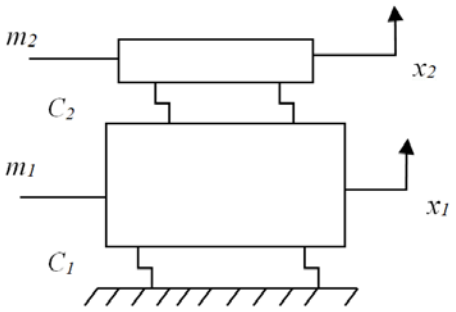


Рис 1. Система с двумя степенями свободы

Сопоставление результатов путей поиска решений иллюстрируется на примере линейных дифференциальных уравнений с постоянными коэффициентами, описывающей свободные незатухающие колебания системы с двумя степенями свободы. Дифференциальные уравнения свободных колебаний системы, изображенной на рис.1, имеют вид:

$$\frac{\partial^2 x_1}{\partial t^2}+\frac{C_1+C_2}{m_1}x_1-\frac{C_2}{m_1}x_2=0,$$

$$\frac{\partial^2 x_2}{\partial t^2}+\frac{C_2}{m_2}x_2-\frac{C_2}{m_2}x_1=0, \qquad (1)$$

где C_1, C_2 – коэффициенты жесткости; m_1, m_2 – сосредоточенные массы.
Частоты собственных колебаний вычисляются согласно зависимостям:

$$\omega_1=\sqrt{\frac{1}{2}\left(\frac{C_1+C_2}{m_1}+\frac{C_2}{m_2}\right)-\sqrt{\frac{1}{4}\left(\frac{C_1+C_2}{m_1}+\frac{C_2}{m_2}\right)^2-\frac{C_1C_2}{m_1m_2}}};$$

$$\omega_2=\sqrt{\frac{1}{2}\left(\frac{C_1+C_2}{m_1}+\frac{C_2}{m_2}\right)+\sqrt{\frac{1}{4}\left(\frac{C_1+C_2}{m_1}+\frac{C_2}{m_2}\right)^2-\frac{C_1C_2}{m_1m_2}}}. \qquad (2)$$

При решении систем дифференциальных уравнений [3] традиционно коэффициенты амплитуд v_{21} и v_{22} находятся предварительно до определения самих амплитуд и углов сдвига фаз. При этом традиционно часто полагают $v_{21} = v_{22} = 1$, а константы v_{21} и v_{22} находят из отношений, связующих амплитуды колебаний для каждой из гармоник вычисляются как:

$$v_{21}=\frac{C_1+C_2-m_1\omega_1^2}{C_2};\quad v_{22}=\frac{C_1+C_2-m_1\omega_2^2}{C_2}. \qquad (3)$$

Решения системы уравнений (1) ищутся в виде

$$x_1 = D_1 \cdot \sin(\omega_1 t + \alpha_1) + D_2 \cdot \sin(\omega_2 t + \alpha_2),$$
$$v_1 = D_1 \cdot \omega_1 . \cos(\omega_1 t + \alpha_1) + \mathrm{B}_1 \cdot \omega_2 . \cos(\omega_2 t + \alpha_2)$$
$$x_2 = D_1 \cdot \nu_{21} \cdot \sin(\omega_1 t + \alpha_1) + D_2 \cdot \nu_{22} \cdot \sin(\omega_2 t + \alpha_2), \quad (4)$$
$$v_2 = D_1 \cdot \omega_1 . \nu_{21} \cdot \cos(\omega_1 t + \alpha_1) + \mathrm{B}_1 \cdot \omega_2 . \nu_{22} \cdot \cos(\omega_2 t + \alpha_2)$$

а затем с использованием начальных условий

$$x_1(0) = x_1^{\,0}, \dot{x}_1(0) = \dot{x}_1^{\,0}, x_2(0) = x_2^{\,0}, \dot{x}_2(0) = \dot{x}_2^{\,0}, \quad (5)$$

из системы трансцендентных уравнений (5) находятся $D_1,\ D_2, \alpha_1, \alpha_2$.

Решение иллюстрируется на численном примере.

Исходные данные: m_1 = 80 кг; m_2 = 20 кг; C_1 = 3000 Н/м; C_2 = 1000 Н/м, ω_1 = 5 $с^{-1}$, ω_2 = 8,66 $с^{-1}$, ν_{21} = 2, ν_{22} = -2.

Начальные условия: $x_1(0) = 0{,}1$ м, $\dot{x}_1(0) = 1\frac{м}{с}$, $x_2(0) = -0{,}1$м, $\dot{x}_2(0) = -1\frac{м}{с}$. (6)

После определения констант, выражения для перемещений приобретает вид:

$$x_1(t) = 0{,}0559\ sin(5t - 5{,}819) - 0{,}1145\ sin(8{,}66\ t + 3{,}855),$$
$$x_2(t) = 0{,}1118 sin(5t - 5{,}819) - 0{,}229\ sin(8{,}66\ t + 3{,}855). \quad (7)$$

Соотношениями между амплитудами являются: ν_{21} = 2, ν_{22} = -2. Итак, получено строгое аналитическое решение системы уравнений. Интересно также отметить, что если искать решение в другом виде

$$x_1 = D_1 \cdot \nu_{11} . \sin(\omega_1 t + \alpha_1) + D_2 \cdot \nu_{12} . \sin(\omega_2 t + \alpha_2),$$
$$x_2 = D_1 \cdot \sin(\omega_1 t + \alpha_1) + D_2 \cdot \sin(\omega_2 t + \alpha_2),$$

то $\nu_{11} = 0.5, \nu_{12} = -0.5$, *а решение согласно графикам совпадает с* (7).

Однако, возможен и другой путь, для которого решение непосредственно ищется в виде

$$x_1 = D_1 \cdot \sin(\omega_1 t + \alpha_1) + \mathrm{B}_1 \cdot \sin(\omega_2 t + \alpha_2),$$
$$v_1 = D_1 \cdot \omega_1 . \cos(\omega_1 t + \alpha_1) + \mathrm{B}_1 \cdot \omega_2 . \cos(\omega_2 t + \alpha_2),$$
$$x_2 = D_2 \cdot \sin(\omega_1 t + \alpha_1) + \mathrm{B}_2 \cdot \sin(\omega_2 t + \alpha_2),$$
$$v_2 = D_2 \cdot \omega_1 . \cos(\omega_1 t + \alpha_1) + \mathrm{B}_2 \cdot \omega_2 . \cos(\omega_2 t + \alpha_2) \quad (8)$$

с совместным учетом линейных уравнений связи между амплитудами колебаний:

$$(C_1 + C_2 - m_1\omega_1^2)\ D_1 - C_2 D_2 = 0,$$
$$(C_1 + C_2 - m_1\omega_2^2)\ B_1 - C_2 B_2 = 0. \quad (9)$$

В случае совместного решения системы трансцендентных уравнений из (8) и линейных уравнений (9), после определения констант, получены следующие выражения для перемещений сосредоточенных масс:

$$x_1(t) = -0{,}0559\ sin(5t + 3{,}605) - 0{,}1145\ sin(8{,}66\ t - 2{,}4278),$$
$$x_2(t) = -0{,}1118 sin(5t + 3{,}605) + 0{,}229\ sin(8{,}66\ t - 2{,}4278). \quad (10)$$

Решения (10) отличаются от (7) знаками амплитуд и фазами. Однако графики функций (7) и (10) *совпадают* (рис.2); *совпадают* также и графики, отражающие вариационный интегральный принцип в форме Лагранжа (рис.3).

$$J_1 = J_2 = \int_0^1 \left(\frac{m_1 x_1^{\,2}}{2} + \frac{m_1 \dot{x}_2^{\,2}}{2}\right) dt. \quad (11)$$

Если принять верхний предел интеграла T = 1с, то: $J_1 = J_2$ = 39, 4576 Дж·с.

Из решений видно, что тождественность рассмотренных функций означает выполнение условий:

$$sin(5t - 5{,}819) \approx -\ sin(5t + 3{,}605),$$
$$sin(8{,}66t + 3{,}855) \approx -\ sin(8{,}66 - 2{,}4278). \quad (12)$$

Полученное решение свидетельствует о надежности программы поиска корней нелинейной системы (трансцендентных) уравнений. Дополнительная проверка досто-

верности решений осуществлена с использованием численного интегрирования системы дифференциальных уравнений в Mathcad.

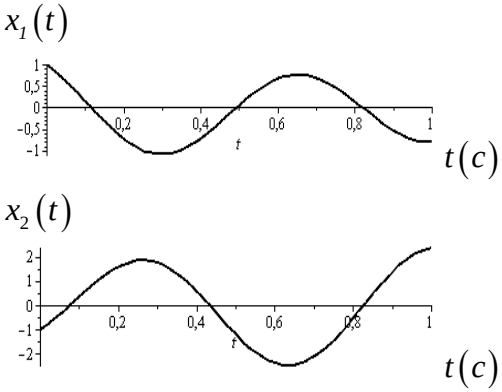


Рис. 2. Графики $x_1(t)$, $x_2(t)$

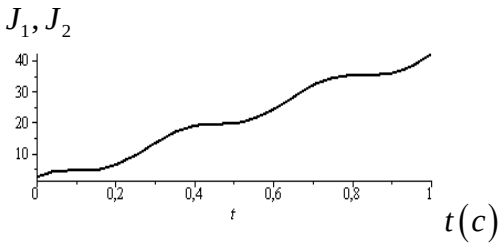


Рис.3. График функционалов наименьшего действия

На рисунке 4 изображена структурная схема использования Simulink для поиска решения дифференциальных уравнений, описывающих колебания системы «объект-гаситель» с учетом помех.

Методам динамического гашения колебаний объектов при использовании пассивных и активных (управляемых) гасителей посвящены работы [1-6]. Эффективность динамического гасителя зависит от настройки его параметров при известных воздействиях на объект; необходимо также учитывать влияние различных факторов – погрешность исходных данных, типы сопротивлений движению, детерминированные и случайные помехи. На рисунке 4 структурная схема включает ПД-регулятор, который обеспечивает снижение влияния помех на динамику объекта.

Заключение.

1. Современное программное обеспечение позволяет непосредственно находить решения системы трансцендентных уравнений в общем случае (при всех не нулевых начальных условий) совместно с линейными условиями, учитывающими соотношения между амплитудами.

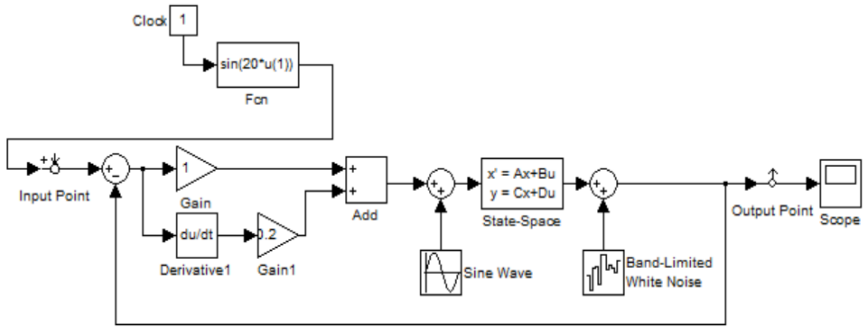


Рис. 4. Численное интегрирование системы уравнений в Simulink с учетом детерминированных и случайных воздействий

2. С целью получения достоверных результатов и исключения ошибок анализ динамического поведения системы в ряде случаев целесообразно проводить с параллельным использованием нескольких программ (Mathcad, Maple, Mathlab, Simulink).

Список литературы: 1. Бернштейн С.А. Основы динамики сооружений / С.А. Бернштейн. – М-Л.: Госстройиздат, 1938. – 160 с. **2.** Тимошенко С.П. Колебания в инженерном деле / С.П. Тимошенко. – М.: Главная редакция физ-мат. «Наука», 1967. – 444 с**. 3.** Бидерман В.Л. Прикладная теория механических колебаний / В.Л. Бидерман. - М.: Высш. шк., 1972. – 416 с. **4.** Вибрации в технике: Справочник. В 6-ти т. Т.6. Защита от вибраций и ударов/ под ред. К.К. Фролова.- М.: Машиностроение, 1981. – 456 с. **5.** Фролов К.В. Прикладная теория виброударных систем /К.В. Фролов, Ф.Л.Фурман. – М.: ашиностроение, 1980. – 276 с. **6.** Генкин М.Д. Методы управляемой вибрации / М.Д. Генкин, В.Т. Елезов, В.В. Яблонский. – М.: Наука, 1985. – 240 с.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ПРИМЕНЕНИЯ ЯДРА РАБОТНОВА ДЛЯ ОПИСАНИЯ КАК ГЛОБАЛЬНОЙ, ТАК И ЛОКАЛЬНОЙ НЕУПРУГОСТИ, ОПРЕДЕЛЕННОЙ ПО СПЕКТРАМ ВНУТРЕННЕГО ТРЕНИЯ

Бугаев Н.М., Горшков А.А., Коровайцева Е.А., Ломовской В.А., Шатохина С.А., Шоршина А.С. *(МАИ, РТУ МИРЭА, НИИ механики МГУ, ИФХЭ РАН, г. Москва, Россия)*
Тел.: +7 (495) 4272743; E-mail: ag60341@gmail.com

Abstract: *Theoretical analysis of correlation between temperature-frequency dependence of complex shear modulus and dynamic relaxation function in the form of Rabotnov kernel is carried out.*

Key words: *dynamic relaxation function, internal friction, complex shear modulus, inelasicity, Rabotnov kernel.*

Исследование и теоретический анализ основной взаимосвязи физико-химической механики «химическая природа, строение, структура – физико-механические характеристики» конденсированных систем (материалов) проводится, в основном, в двух режимах внешнего деформирующего воздействия: статическом (квазистатическом) и динамическом [1]. Статический режим исследования «внешнее деформирующее воздействие – отклик системы на это воздействие» рассматривает исследуемую систему с модельных представлений однородной непрерывной сплошной среды и позволяет получить диаграмму «напряжение-деформация» в изотермических режимах. В интервалах напряжений $\sigma_{пц} \le \sigma \le \sigma_{тек}$ определяется область неупругой реакции системы на внешнее воздействие. В этой области при $\sigma_{пц} \le \sigma \le \sigma_y$ в системах могут не оставаться остаточные деформации при снятии внешнего воздействия (область упруговязкой реакции: ползучесть и обратное последействие, $\varepsilon_{ост} = 0$, модель Фойгта). При $\sigma_y \le \sigma \le \sigma_{тек}$ в системах могут оставаться остаточные деформации при снятии внешнего воздействия (область вязкоупругой реакции: релаксация, $\varepsilon_{ост} \ne 0$, модель Максвелла). И в том и в другом случае система представляется как однородная сплошная и исследование неупругости производится в области температур стеклования (аморфные системы) или в области температур плавления (кристаллические системы). Таким образом, система представляется как основная агрегатная формообразующая система, отвечающая за глобальную реакцию материала, связанную с изменением агрегатного состояния системы. Неупругая реакция агрегатной системы (агрегатной подсистемы) может быть описана в рамках наследственной теории неупругости Больцмана-Вольтерра, в которой основную роль играет функция ретардации (ползучесть) или функция релаксации. Для более качественного описания экспериментальных данных применялись различные функции, в частности, функция Работнова:

$$\varphi(t) = \frac{t^{\gamma-1}}{\tau^{\gamma}} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{(-1)^n \left(t/\tau\right)^{\gamma n}}{\Gamma\left[\gamma(n+1)\right]}; \quad 0 < \gamma \le 1 \qquad (1)$$

Данная функция удовлетворительно описывает процессы ползучести агрегатной подсистемы в изотермическом режиме внешнего статического воздействия на систему, состоящую из одной агрегатной подсистемы.

В динамическом режиме производимого в широком температурно-частотном интервале исследования «внешнее деформирующее воздействие – отклик системы на это воздействие» рассматривать исследуемую систему с модельных представлений однородной непрерывной сплошной среды не представляется возможным. Это обусловлено тем, что структурно-кинетические элементы, из которых построена система, по-разному реагируют на одинаковое (по частоте и амплитуде) воздействие при различных температурах или при разных воздействиях, но с одинаковой температурой. В этом случае система

может рассматриваться только с атомно-молекулярных модельных представлений, где вся система представляется в виде совокупности отдельных слабо взаимодействующих между собой структурно-кинетических локальных подсистем [2]. В данном режиме исследуются не диаграммы "$\sigma-\varepsilon$", а спектры внутреннего трения $\lambda = f(T)$ и температурные зависимости частоты возбуждённого в исследуемой системе колебательного процесса $\nu = f(T)$. На этих спектрах фиксируется несколько (от 2 до 10) локальных диссипативных процессов, связанных с локальной неупругостью элементов той или иной структурно-кинетической подсистемы, входящей составной частью в исследуемую систему. Температурно-частотная зависимость этих локальных процессов неупругости требует выполнения ряда условий, предъявляемых функциям (ядрам) релаксации, для использования теоретических уравнений глобальной неупругости. Теоретический анализ применения функции Работнова в широком частотном интервале исследований как глобальной неупругости, так и локальной неупругости, показал её частотную ограниченность в использовании. Однако, вследствие того, что на спектрах имеется диссипативный процесс, связанный со стеклованием, сегментальной подвижностью или плавлением (в зависимости от химической природы исследуемой системы), то в ограниченном температурно-частотном интервале исследования этого процесса возможно использование данной функции. Это вызвано тем, что эти диссипативные процессы (α - процессы релаксации) очень часто являются асимметричными, что вызывает ограничение в описании их неупругости функциями Максвелла и Кольрауша. Функция релаксации Работнова может удовлетворительно описывать процесс релаксации для локальной (модифицирующей) структурно-кинетической подсистемы, который на спектре $\lambda = f(T)$ представляется в виде пика диссипативных потерь [3]. Пик потерь на спектре характеризует исследуемую систему, состоящую из двух структурно-кинетических подсистем: агрегатной и модифицирующей (локальной) [2]. В этом случае частота колебательного процесса, возбуждённого в исследуемой системе при повышении температуры системы, изменяется в определённом интервале от величины ν_{T_0} до величины ν_{T_k}, где ν_{T_0} и ν_{T_k} – значения частоты на зависимости $\nu = f(T)$ при температуре начала локального пика диссипативных потерь на спектре $\lambda = f(T)$ при условной температуре T_0 и окончания пика потерь при условной температуре T_k соответственно. Учитывая связь модуля сдвига с частотой колебательного процесса можно предположить, что модуль при повышении температуры системы также изменяется в определённом интервале от величины G_{T_0} до величины G_{T_k}. Это происходит за счёт релаксации локальной модифицирующей подсистемы. Модуль агрегатной подсистемы в этом интервале температур практически не изменяется. В этом случае комплексный модуль сдвига всей системы определяется в виде:

$$G^*(\omega t) = G_{T_0}\left[1 - \frac{G_{T_0} - G_{T_k}}{G_{T_0}} \cdot \frac{1}{\left[1 + (i\omega\tau)^{\gamma}\right]}\right] + G_g\,, \qquad (2)$$

где $\omega = 2\pi\nu;\ G_g = G - G_{T_k} = const$ – модуль агрегатной подсистемы при $T \geq T_k$; G – нерелаксированный модуль всей системы при $T = T_0$; γ – коэффициент, характеризующий релаксационную микронеоднородность диссипативного процесса.

Учитывая, что:

$$G^*(i\omega) = ReG^*(i\omega) + ImG^*(i\omega) \text{ и } \lambda = \pi tg\delta = \pi\frac{ImG^*(\omega t)}{ReG^*(\omega t)} \qquad (3)$$

$$\begin{cases} ReG^*(i\omega) = G - \dfrac{\left(G_{T_0} - G_{T_k}\right)\left[1+(\omega\tau)^{\gamma}\cos\dfrac{\pi}{2}\gamma\right]}{1+(\omega\tau)^{2\gamma}+2(\omega\tau)^{\gamma}\cos\dfrac{\pi}{2}\gamma} \\ ImG^*(i\omega) = \dfrac{\left(G_{T_0} - G_{T_k}\right)\left[1+(\omega\tau)^{\gamma}\sin\dfrac{\pi}{2}\gamma\right]}{1+(\omega\tau)^{2\gamma}+2(\omega\tau)^{\gamma}\cos\dfrac{\pi}{2}\gamma} \end{cases} \quad (4)$$

$$\lambda = \frac{\left(G_{T_0} - G_{T_k}\right)\left[1+(\omega\tau)^{\gamma}\sin\dfrac{\pi}{2}\gamma\right]}{G\left[1+(\omega\tau)^{2\gamma}+2(\omega\tau)^{\gamma}\cos\dfrac{\pi}{2}\gamma\right]-\left(G_{T_0} - G_{T_k}\right)\left[1+(\omega\tau)^{\gamma}\cos\dfrac{\pi}{2}\gamma\right]} \quad (5)$$

Из соотношения (5) следует, что при соотношениях $\left\{\begin{matrix}(\omega\tau)\square\ 1\\(\omega\tau)\square\ 1\end{matrix}\right\} \Rightarrow \lambda \to \lambda_g$ – внутреннее трение системы стремится к внутреннему трению высокотемпературной агрегатной подсистемы. При выполнении условия $(\omega\tau)\approx 1 \Rightarrow \lambda \to \lambda_{мод_{max}}$ – максимуму пика потерь на спектре $\lambda = f(T)$ для локального диссипативного процесса. Температурно-частотное расположение пика $\lambda_{мод_{max}}$ определяется дифференцированием вида:

$$\frac{\partial\lambda(T)}{\partial\omega\tau} = 0 \Rightarrow \lambda_{мод_{max}} \Rightarrow \omega\tau = \left[\frac{G-\left(G_{T_0} - G_{T_k}\right)}{G}\right]^{\frac{\gamma}{2}} \quad (6)$$

Построение теоретических приведенных кривых $\dfrac{\lambda_{мод_i}}{\lambda_{мод_{max}}} = f\left[lg(\omega\tau)\right]$, произведенное по соотношению (5) при различных значениях коэффициента дробности γ, и нанесение на эти кривые экспериментальных значений, полученных из спектров внутреннего трения $\lambda = f(T)$, позволяет определить величину γ, а, следовательно, и степень релаксационной микронеоднородности в подвижности структурно-кинетических элементов локальной модифицирующей подсистемы. Изменение температуры исследуемой системы, влияние внешних ионизирующих воздействий или любого другого фактора, приводящего к определённым структурным изменениям в модифицирующей подсистеме, приведёт и к изменению коэффициента γ. Это, в свою очередь, является одним из параметров синтеза материалов с заданными свойствами.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант РФФИ № 18-08-00427-а, грант РФФИ № 19-33-90105-аспиранты).

Список литературы: 1. Ломовской В.А. Физико-химическая механика. Основные понятия. Часть 1. Научное издание в трёх частях. − М.: Изд-во ИФХЭ РАН, 2019. − 415 с. **2.** Ломовской В.А. Внутреннее трение в исследованиях взаимосвязи «химическая структура − физические свойства» наносистем // Сб. Современные проблемы физической химии наноматериалов. − М.: Изд-во «Граница», 2008. − С. 287-301. **3.** Андреев И.В., Балашов Ю.С., Ломовской В.А. Высокотемпературная механическая релаксация в натриевоборатных стеклах // Физика и химия стекла. − 1984. − Т.10. − №4. − С. 505–508.

ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ СОВМЕСТИМОСТЬ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ СЛОЁВ И ПОКРЫТИЙ НА ДЕТАЛЯХ ТРИБОСИСТЕМ

Бутенко В.И.[1)], **Шаповалов Р.Г.**[2)]
([1)]Донской государственный технический университет, г. Ростов-на-Дону, Россия,
[2)]Южный Федеральный университет, г. Таганрог, Россия)
Тел. +7-928-600-57-61; E-mai: butenkowiktor@yandex.ru

Abstract. *The results of the study of the dependence of friction processes on the type, composition and technology of creating functional layers and coatings on the surfaces of parts are presented. the leading role in these studies is determined by the technological compatibility of the adopted layers and coatings with the main material of parts.*
Keywords: *detail, layer, coating, tribosystem, technological compatibility, dislocation saturation.*

В работах [1 – 3]доказано, что в процессе контактного взаимодействия материалов разного химического состава и структуры происходит фрикционный перенос элементов с образованием на поверхностном слое плёнок наноразмерной толщины, играющих определяющую роль в теплофизических, диффузионно-сегрегационных, трибоэлектрических и трибодинамических процессах контактного взаимодействия деталей трибосистем. Важнейшую роль в этих процессах играет технологическая совместимость (ТС) созданных на поверхностях деталей трибосистем функциональных слоёв и покрытий (ФСиП), которая может быть оценена показателем $П_{тс}$, определяемым по формуле [1]:

$$П_{тс} = Э_{уд2} / Э_{уд1}, \quad (1)$$

где $Э_{уд1}$ – удельная величина накопленной энергии деформации материала поверхностного слоя детали до создания на нём ФСиП, Дж/м^3;
$Э_{уд2}$ – удельная величина накопленной энергии деформации материала поверхностного слоя детали при наличии на нём ФСиП.

Проведено более 1500 экспериментов по определению показателя $П_{тс}$ на образцах из сталей 12ХН3А, 35ХГСА и сплава 45Х25Н20С2А с созданными на них следующими ФСиП:

- медным слоем толщиной 10±1 мкм;
- никельфосфорным покрытием толщиной 40±1 мкм;
- многокомпонентного функционального слоя, состоящего из полиэтилена и графита толщиной 80±2 мкм;
- многокомпонентным функциональным слоем на полимерной основе, содержащем полиэтилен ПЭНД, сплав Вуда, графит и кристаллический йод толщиной 100±2 мкм.

Результаты выполненных исследований показали, что значения показателя $П_{тс}$ при одном и том же способе финишной обработки поверхности детали и одном и том же создаваемом на ней ФСиП для разных материалов могут существенно отличаться друг от друга. Так, например, при алмазном выглаживании поверхности детали из стали 12ХН3А и последующем создании на ней функционального слоя на полимерной основе (состав 4) $П_{тс}$ = 0,87; для деталей из стали 35ХГСА – $П_{тс}$ = 0,83; для сплава 45Х25Н20С2А – $П_{тс}$ = 0,75. Зависимость показателя $П_{тс}$ от материала детали при созданном на её поверхности ФСиП, по-видимому, можно объяснить характером протекания диффузионных процессов, обусловленных соотношением между прямой (импульсной) передачей энергии от диффундирующих микрочастиц атомам или микрочастицам основного материала поверхностного слоя детали и рассеиванием (диссипацией) энергии [1].

Проведены исследования зависимости показателя $П_{тс}$ для исследуемых слоёв и покрытий от показателя дислокационной насыщенности материала поверхностного

слоя детали K_ρ, во многом определяющего эксплуатационные свойства материала поверхностного слоя деталей трибосистем [4]. Значения показателя K_ρ определялись после однократного шлифования, обкатки роликом и алмазного выглаживания поверхностей деталей из сталей 12ХН3А, 18Х2Н4МА, 35ХГСА, 50, сплавов 45Х25Н20С2А, ЖС6У и чугунов СЧ15 и АЧС-3. Результаты исследований в виде обобщённых графиков приведены на рис. 1, из анализа которых следует, что сформированная в процессе финишной обработки поверхности детали дислокационная структура основного материала оказывает влияние на ТС создаваемых ФСиП. При этом для медного слоя и никельфосфорного покрытия это влияние более существенно, чем для многокомпонентных функциональных слоёв на полимерной основе. Очевидно, что между металлами существует более высокая ТС, обусловленная их кристаллическим строением и наличием свободных электронов [5]. Для многокомпонентных функциональных слоёв на полимернеой основе ТС с основным материалом поверхностного слоя детали определяется адгезионной силой и диффузионными процессами, приводящими к перемещению отдельных микрочастиц (или компонент ФСиП) в глубь основного материала детали под воздействием силового и температурного факторов. Кроме того, известно, что поверхностная энергия металла определяется энергией атомов, расположенных на внешней границе поверхности [1]. Этот факт также объясняет более тесную зависимость показателя $П_{тс}$ от дислокационной структуры основного материала поверхностного слоя детали, выраженной через показатель K_ρ.

Выполненные исследования показали (рис.1), что от величины на- чального значения показателя дислокационной насыщенности K_ρ зависит не только $П_{тс}$, но и характер изменения состояния поверхностного слоя в процессе, например, контактного взаимодействия деталей трибосистем. Об этом свидетельствуют фотографии состояния поверхностного слоя деталей, модифицированных медью толщиной 15 мкм и прошедших различную финишную обработку перед модифицированием (рис. 2). Наличие на модифицированной медью поверхности детали, предварительно подвергнутой обкатке роликом, полос, совпадающих с направлением пластической деформации, свидетельствует об упорядочении структуры материала поверхностного слоя (рис. 2, *а*), что положительно сказывается на его эксплуатационных свойствах в трибосистемах.

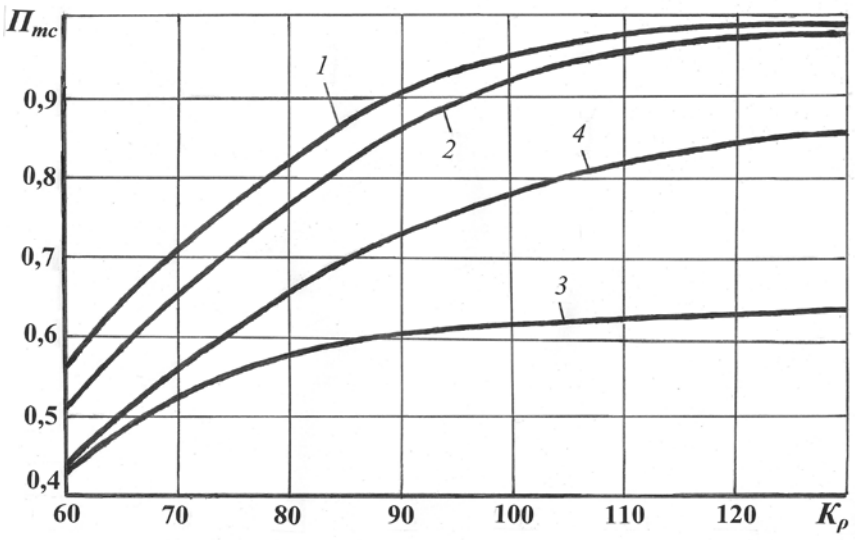
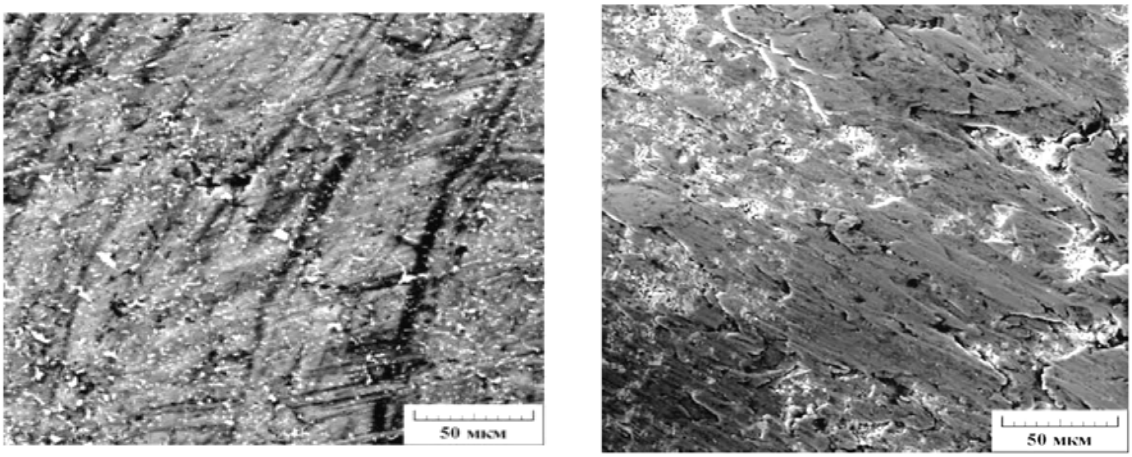


Рис. 1. Зависимость показателя $П_{тс}$ от K_ρ для медного слоя (кривая 1), никельфосфорного покрытия (кривая 2), многокомпонентного функционального слоя, состоящего из полиэтилена и графита (кривая 3) и многокомпонентного функционального слоя, включающего полиэтилен, графит, сплав Вуда и кристаллический йод (кривая 4)

При шлифовании, по-видимому, из-за высоких локальных температур тонкий приповерхностный слой подвергается частичной аморфизации, вследствие чего структура модифицированного слоя имеет хаотический и неоднородный вид (рис. 2, *б*).



а – K_ρ = 110; $П_{тс}$ = 0,95 *б* – K_ρ = 105; $П_{тс}$ = 0,89

Рис. 2. Состояние поверхностного слоя в зависимости от K_ρ: *а* – обкатка роликом; *б* – шлифование; сталь 12ХН3А. Увеличение 75

Известно [4 – 6], что триботехнические характеристики материала поверхностного слоя детали зависят от потенциала трибоконтакта *U*, возникающего между сопряжёнными поверхностями, во многом обусловленном контактной совместимостью их материалов. В связи с этим, используя комплекс для определения потенциала трибоконтакта *U*, описанный в работе [6], была исследована взаимосвязь между показателем ТС $П_{тс}$ сопряжённых поверхностей деталей с ФСиП и возникающим между ними в зоне контакта потенциалом *U*. Исследования проводились на образцах из стали 12ХН3А с созданными на их рабочих поверхностях деталей трибосистем ранее описанными ФСиП разной толщины на следующих режимах трения: p = 1,5 МПа, $V_{ск}$ = 0,5 м/с, $\Theta = 80^{o}$С.

В результате исследований было установлено, что для всех видов исследуемых ФСиП наименьшие значения потенциала трибоконтакта *U* достигаются при соотношении показателей ТС $П_{тс1}/П_{тс2}$ сопряжённых поверхностей, близких к 1. Причём эта тенденция имеет место как при наличии на контактных поверхностях сопряжённых деталей одинаковых ФСиП, так и разных по их составу и технологии создания. Одновременно было установлено, что характер изменения потенциала трибоконтакта *U* от режимов трения неоднозначен: с увеличением давления в зоне контакта p потенциал *U* изменяется пропорционально изменению давления, а с увеличением скорости скольжения $V_{ск}$ величина потенциала *U* изменяется экспоненциально, достигая при некоторых значениях $V_{ск}$ предельного значения. Однако, независимо от давления p и скорости скольжения $V_{ск}$, практически во всех случаях величина потенциала *U* для медного слоя и никельфосфорного покрытия (рис. 3, 4, кривые 1, 2) выше, чем для многокомпонентного функционального слоя на полимерной основе (рис. 3, 4, кривые 3), что, по-видимому, объясняется более высокими для них начальными значениями показателя $П_{тс}$.

Используя метод многофакторного планирования эксперимента типа 2^3, были получены следующие эмпирические зависимости для практического определения показателя $П_{тс}$ при различных состояниях поверхностного слоя деталей из железоуглеро-

дистых сплавов, которые могут быть использованы для реализации условия $П_{тс1} / П_{тс2} = 1$:

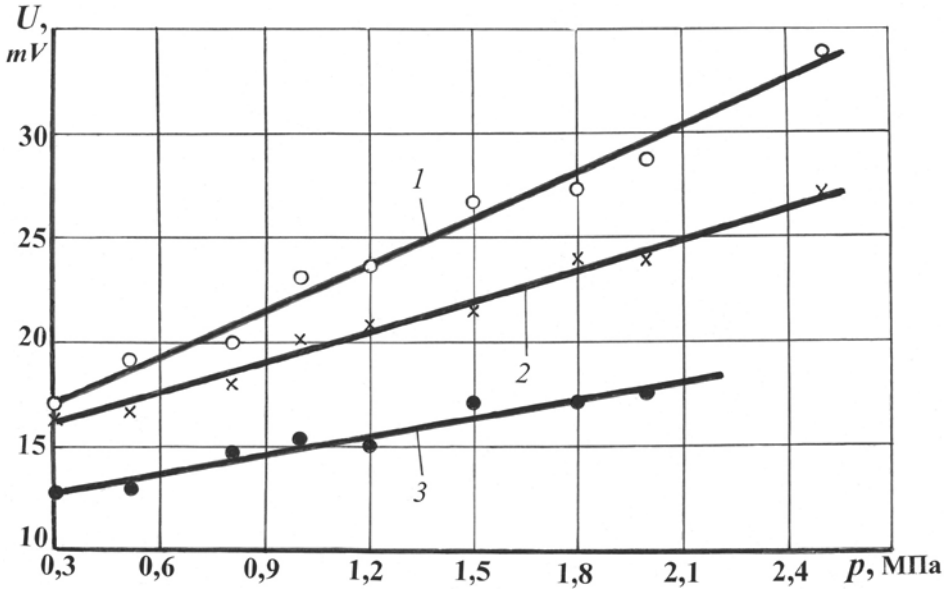


Рис. 3. Изменение потенциала трибоконтакта U от давления p пары трения «сталь 12ХН3А – сталь 12ХН3А»: 1 – медный слой; 2 – никельфосфорное покрытие; 3 – многокомпонентный функциональный слой со сплавом Вуда ($V_{ск}$ = 0,5 м/с; Θ = 40°С)

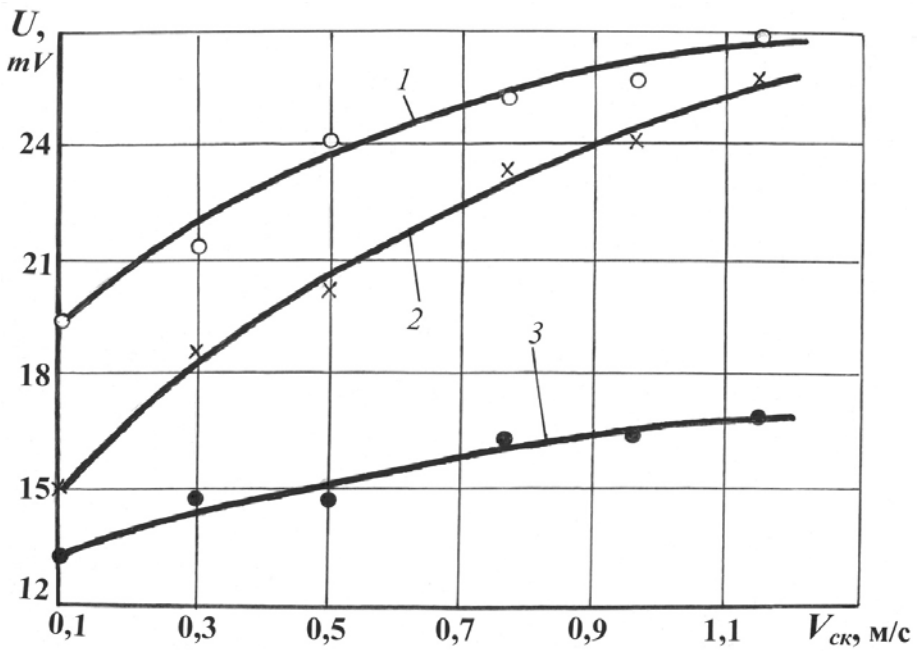


Рис. 4. Изменение потенциала трибоконтакта U от скорости скольжения $V_{ск}$ пары трения «сталь 12ХН3А – сталь 12ХН3А»: 1 – медный слой; 2 – никельфосфорное покрытие; 3 – многокомпонентный функциональный слой со сплавом Вуда (p = 1,0 МПа; Θ = 40°С)

при модификации материала поверхностного слоя медью

$$П_{тс} = 0{,}729 \cdot \sigma_m^{-0{,}135} \cdot \Delta K_\rho^{0{,}207} \cdot h_c^{0{,}576-0{,}5\log h_c} \cdot K_{птс}; \quad (2)$$

при нанесении на поверхность детали никельфосфорного покрытия

$$П_{тс} = 0{,}684 \cdot \sigma_m^{-0{,}122} \cdot \Delta K_\rho^{0{,}195} \cdot h_c^{0{,}891-0{,}6\log h_c} \cdot K_{птс}; \quad (3)$$

при создании на поверхности детали функционального слоя, содержащего полиэтилен, графит, сплав Вуда, кристаллический йод

$$П_{тс} = 0{,}457 \cdot \sigma_m^{-0{,}118} \cdot \Delta K_\rho^{0{,}139} \cdot h_c^{1{,}816-0{,}8\log h_c} \cdot K_{птс}, \quad (4)$$

где $\Delta K_\rho = (K_\rho)_н - (K_\rho)_к$; здесь $(K_\rho)_н$ – значение показателя дислокационной насыщенности материала поверхностного слоя детали до создания на нём ФСиП; $(K_\rho)_к$ – значение показателя дислокационной насыщенности материала поверхностного слоя с созданным на нём ФСиП;

$K_{птс}$ – коэффициент, зависящий от знака технологических остаточных напряжений в материале поверхностного слоя детали до создания на нём ФСиП; при положительных напряжениях $K_{птс} = 1{,}0$; при отрицательных $K_{птс} = 1{,}1$.

Зависимости (2) – (4) справедливы при изменении входящих в них параметров в следующих диапазонах: $\sigma_m = 200 – 450$ МПа; $\Delta K_\rho = 20 – 60$; толщина слоя h_c изменяется в следующих диапазонах: при модифицировании материала поверхностного слоя медью $h_c = 5 – 20$ мкм; при нанесении на поверхность детали никельфосфорного покрытия $h_c = 20 – 80$ мкм; при создании функционального слоя на полимерной основе составов $h_c = 50 – 200$ мкм. Они могут быть использованы для обоснования выбора ФСиП, обеспечивающих максимально возможную ТС с основным материалом деталей трибосистем, в том числе при создании ФСиП с использованием высокотемпературного потока энергии, когда $П_{тс} \geq 1$ [1, 7].

Таким образом, из анализа результатов выполненных исследований следует, что активность протекания процессов трения в зоне контакта взаимодействующих поверхностей деталей трибосистем зависит от ТС материалов контактирующих поверхностей с созданными на них ФСиП. В связи с этим в конструкторско-технологической практике при разработке и создании высокоресурсных деталей трибосистем важно уже на этапе эскизного проектирования обоснованно назначить вид и технологию создания ФСиП на поверхностях деталей, обеспечивающих их ТС с основными материалами поверхностных слоёв.

Список литературы: 1. Бутенко, В.И. Технологическая совместимость функциональных слоёв и покрытий / В.И. Бутенко. – Ростов-на-Дону: Издат. центр ДГТУ, 2020. – 169 с. **2.** Колесников, В.И. Кинетика фрикционного переноса в металлополимерной трибосистеме / В.И. Колесников, В.Н. Кравченко, И.В. Колесников // Трение и износ. – 2014. – Т. 35. – № 6. – С. 735 – 738. **3.** Колесников, И.В. Физико-химические процессы образования плёнки переноса на поверхности сопряжения металлополимерных трибосистем / И.В. Колесников // Плёнки и покрытия – 2015: тр. XII междунвр. конф. – СПб: Изд-во Политехн. ун-та, 2015. – С. 20 – 22. **4.** Бутенко, В.И. Структура и свойства поверхностного слоя деталей трибосистем / В.И. Бутенко. – Таганрог: Изд-во ЮФУ, 2012. – 367 с. **5.** Бутенко, В.И. Контактное взаимодействие материалов при трении и резании В.И. Бутенко. – Таганрог: Изд-во ТТИ ЮФУ, 2009. – 256 с. 6. Бутенко, В.И. Структура и потенциал трибоконтакта поликристаллических материалов / В.И. Бутенко. – Ростов-на-Дону: Издат. центр ДГТУ, 2018. – 160 с. 7. Бржозовский, Б.М. Упрочнение режущего инструмента воздействием низкотемпературной плазмы комбинированного разряда / Б.М. Бржозовский, В.В. Мартынов, Е.П. Зинина. – Саратов: Изд-во Сарат. гос. тех. ун-та., 2009. – 176 с.

УМЕНЬШЕНИЕ УПЛОТНЯЕМОГО ЗАЗОРА СИЛОВОГО ГИДРОЦИЛИНДРА, РАБОТАЮЩЕГО ПОД ВЫСОКИМ ДАВЛЕНИЕМ

Бяков М.А., Буялич Г.Д., Буялич К.Г. *(КузГТУ, г. Кемерово, Россия)*
Тел. +7 (384-2) 39-69-40; e-mail: gdb@kuzstu.ru

Abstract: *The paper describes the problem of reducing the tightness of power hydraulic cylinders operating under high pressure. A piston design is proposed, in which under the influence of the working fluid pressure its radial deformation occurs, which reduces the size of the sealing gap between the piston and the working cylinder. This improves the working conditions of the lip seal and increases the tightness of the power cylinder.*
Key words: *tightness, lip seal, piston, working cylinder, hydraulic leg, powered support, sealed gap, deformations.*

Одной из основных проблем силовых гидроцилиндров, работающих под высоким давлением рабочей жидкости, являются большие радиальные деформации цилиндров, приводящие к повышенным уплотняемым зазорам, в которых для обеспечения герметичности необходимы дорогостоящие манжетные уплотнения, способные работать в крайне тяжёлых условиях специального исполнения [1–4]. К таким силовым гидроцилиндрам относятся, например, гидростойки механизированных крепей при отработке угольных пластов подземным способом, в которых рабочее давление рабочей жидкости составляет порядка 50–60 МПа.

Численное значение величины герметизируемого зазора, в котором работает манжетное уплотнение, определяется полями допусков на изготовление поршня и цилиндра $\Delta\gamma$, величиной радиальных деформаций цилиндра Δp от воздействия на него давления рабочей жидкости p, а также величиной радиальных деформаций цилиндра Δf от дополнительных усилий Fa и F_B, возникающих от перекоса штока и цилиндра при внецентренных приложениях нагрузок P, которые вызваны кинематическим расположением гидростойки в секции крепи под углом α. Схема приложения сил к гидроцилиндру, расположенного под углом α к вертикали, и составляющие его радиальных деформаций приведены на рис. 1.

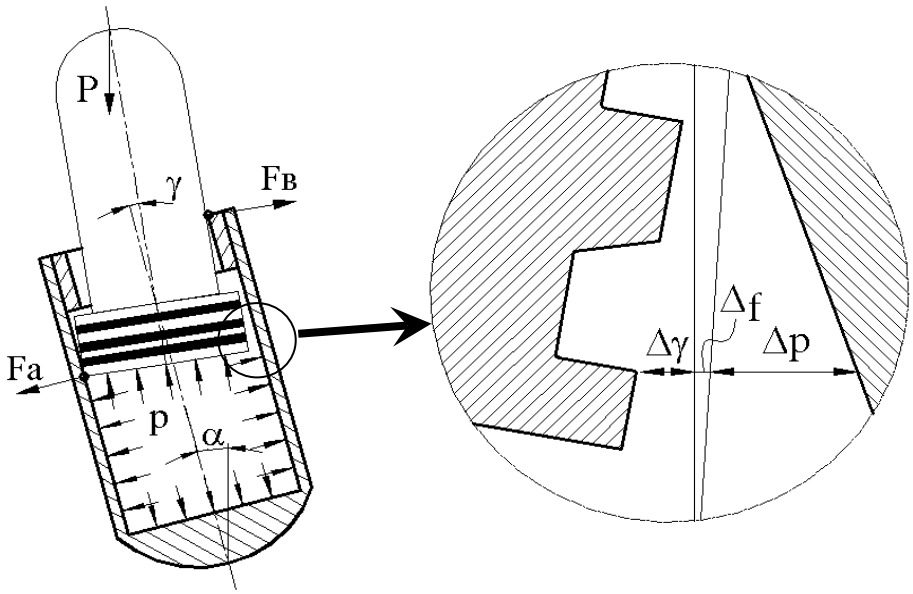


Рис. 1. Расчетная схема для оценки деформаций с учетом углов установки гидростойки и перекоса штока

Расчёты силового гидроцилиндра по приведённой выше схеме показывают, что при угле установки его в конструкции крепи 10 градусов к вертикали радиальные деформации рабочего цилиндра при рабочем давлении жидкости 42 МПа достигают величины, сопоставимой с полем допуска на изготовление поршня и цилиндра [5]. То есть фактическая величина уплотняемого зазора составляет почти двукратную величину по сравнению с расчётными значениями, рекомендуемыми для нормальной работы манжетного уплотнения.

Герметичность силового цилиндра определяется множеством факторов, часть которых оказывает влияние на величину герметизируемого зазора [6, 7], а часть – на работу манжетного уплотнения в образовавшемся зазоре [8, 9].

Для повышения эффективности работы манжетного уплотнения по герметизации зазора между поршнем и цилиндром предлагается техническое решение исполнения поршня [10, 11] позволяющее в несколько раз уменьшить фактический уплотняемый зазор (рис. 2).

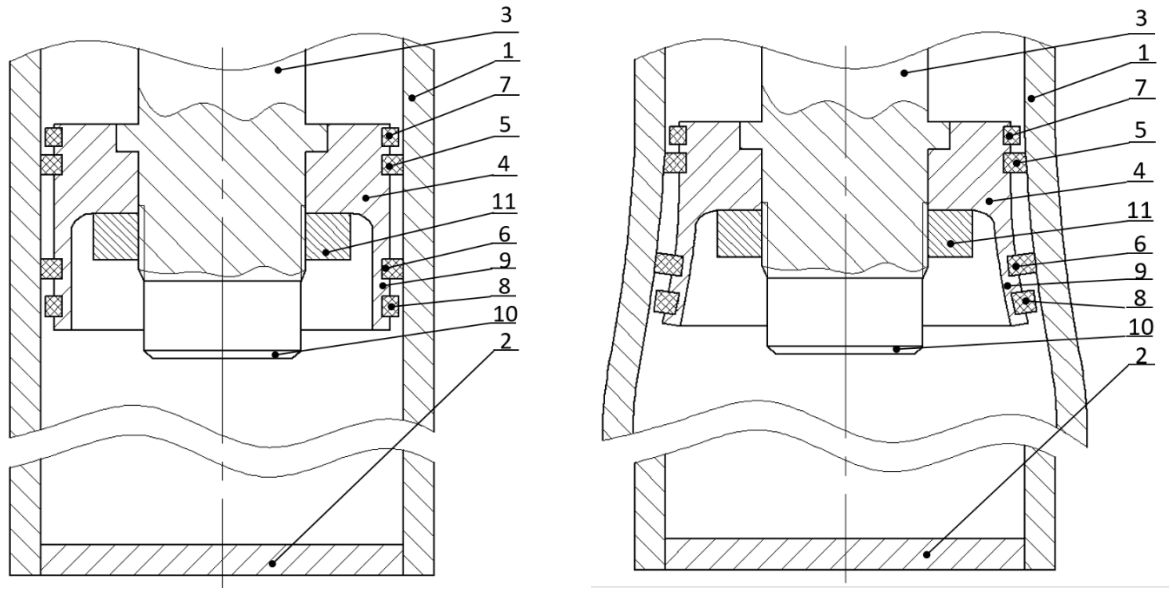


Рис. 2. Предлагаемое техническое решение выполнения поршня для уменьшения уплотняемого зазора (до и после приложения давления рабочей жидкости)

Сущность предлагаемого технического решения заключается в следующем. Со стороны поршневой полости поршень 4 имеет кольцевой выступ 9, на котором расположено одно из манжетных уплотнений 6. Антифрикционные кольца 7 и 8 предназначены для предотвращения непосредственного трения материалов поршня и цилиндра 1. Кольцевой выступ 9 выполнен с такими размерами и формой, а манжетное уплотнение 6 находится на таком расстоянии от торца поршня, что под действием давления рабочей жидкости его радиальные деформации совпадают с радиальными деформациями рабочего цилиндра 1.

Величина радиальных деформаций кольцевого выступа поршня определяется свойствами его материала, размерами, давлением рабочей жидкости в поршневой полости и расположением манжетного уплотнения от торца поршня. При этом радиальные деформации кольцевого выступа поршня могут быть больше радиальных деформаций рабочего цилиндра на величину зазора, получаемого за счёт полей допусков при изготовлении деталей силового гидроцилиндра.

Для предотвращения разрушения кольцевого выступа в крайне нижнем положении поршня (при минимальной раздвижности силового гидроцилиндра) имеется упор 10, который может быть выполнен в виде выступа на дне 2 или в виде выступа на штоке (поршне), как показано на рис. 2.

Описанное выше устройство позволяет в несколько раз уменьшить величину уплотняемого зазора при работе силового гидроцилиндра под высоким давлением рабочей жидкости, что существенно улучшает условия работы манжетного уплотнения и повышает уровень герметичности устройства.

Список литературы: 1. Определение деформаций рабочего цилиндра шахтной гидростойки / Г. Д. Буялич, В. В. Воеводин // Вестник Кузбасского государственного технического университета. – Кемерово, 2000. – № 6. – С. 70–71. **2.** Modeling of Hydraulic Power Cylinder Seal Assembly Operation / Buyalich G. D., Buyalich K. G. // Mining 2014 : Taishan Academic Forum – Project on Mine Disaster Prevention and Control : Chinese Coal in the Century: Mining, Green and Safety, China, Qingdao, 17–20 October 2014. – Paris : Atlantis Press, 2014. – P. 167–170. **3.** Radial deformations of working cylinder of hydraulic legs depending on their extension / Buyalich G.D., Buyalich K.G., Voyevodin V.V. // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – IOP Publishing, 2015. – Vol. 91. – # 012087. – DOI:10.1088/1757-899X/91/1/012087. **4.** Исследование радиальных деформаций гидростоек двойной гидравлической раздвижности / Бяков М. А., Буялич Г. Д., Буялич К. Г., Увакин С. В. // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2020. – № 1. – С. 133–140. – ISSN 0236-1493. – DOI: 10.25018/0236-1493-2020-1-0-133-140. **5.** Буялич, Г. Д. Оценка герметичности гидростоек механизированных крепей / Г. Д. Буялич, В. В. Воеводин, К. Г. Буялич // Динамика и прочность горных машин : сб. тр. II Междунар. конф., 28–29 мая. – Новосибирск : Ин-т горного дела СО РАН, 2003. – Т. 2. – С. 86–88. **6.** Условия сохранения работоспособности силовых гидроцилиндров / Бяков М. А., Буялич Г. Д., Буялич К. Г. // Инновационные технологии в машиностроении : сб. тр. X Междунар. науч.-практ. конф., Юрга, 23–25 мая 2019 г. – Томск : Изд-во Том. политехн. ун-та, 2019. – С. 153–156. – ISBN 978-5-4387- 0871-1. **7.** Factors determining the size of sealing clearance in hydraulic legs of powered supports / Buyalich G., Buyalich K., Byakov M. // E3S Web of Conferences. – EDP Sciences, 2017. – Vol. 21 : The second international innovative mining symposium. – # 03018. – 7 p. – DOI: https://doi.org/10.1051/e3sconf/20172103018. **8.** Классификация факторов, оказывающих влияние на работу манжетных уплотнений гидростоек механизированных крепей / Бяков М. А., Буялич Г. Д., Буялич К. Г. // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал) = Mining informational and analytical bulletin (scientific and technical journal). – 2018. – № 12 (S65). – С. 29–37. – ISSN 0236-1493. – DOI: 10.25018/0236-1493-2018-12-65-29-37. **9.** Factors determining operation of lip seal in the sealed gap of the hydraulic props of powered supports / Buyalich G., Byakov M., Buyalich K. // E3S Web of Conferences. – EDP Sciences, 2018. – Vol. 41 : IIIrd international innovative mining symposium. – # 01045. – 6 p. – DOI: https://doi.org/10.1051/e3sconf/20184101045. **10.** Патент на изобретение 2702781 C1 РФ. **11.** Патент на полезную модель 191999 U1 РФ.

МНОГОЗАХОДНЫЙ ГИПЕРБОЛОИДНЫЙ ИНСТРУМЕНТ СЛИНЕЙНЫМ КОНТАКТОМ С ОБРАБАТЫВАЕМОЙ ДЕТАЛЬЮ

Витренко В.А., Ефимов А.А., Михайлова А.Д., Черных В.В.
(ЛНУ им. В. Даля, г. Луганск, ЛНР)
т*ел./факс:* + 38 (0642) 341826; *e-mail:vitrenko.vl@gmail.com*

Abstract: *The article investigates new method of rotation body type details rolling and unrolling using principally new rolling instrument. Instrument profile has been obtained as an envelop of the detail. The investigation results have been introduced into production process. It has been shown that rolling instrument has a linear character of contact with the detail being treated.*
Key words: *instrument, roller, linear contact, envelop, sliding speed.*

В представленной работе решена актуальная задача повышение качества и точности сглаживающей и упрочняющей накатки деталей типа тел вращения при помощи принципиально нового накатного инструмента, полученного согласно схеме формообразования третьего класса.

Преждевременный выход из строя деталей ходовой части подвижного состава происходит по причинам износа, питтинга, трещин, сколов и т.д. может быть в значительной мере уменьшен. Бороться с этими выходами из строя можно различными методами: изменением конструкции этих деталей, их геометрических размеров и конструкции всей машины в целом, применением новых высокопрочных материалов, изменением технологии их изготовления, применением новых высокоэффективных методов накатки при помощи принципиально нового накатного инструмента.

На промышленных предприятиях накатку осей тепловоза производят на специальных токарно-накатных станках при помощи двух роликов, расположенных диаметрально противоположно. Эти ролики изготавливают из инструментальной стали. Раскатка отверстий в колесных центрах производится на токарно-карусельных станках при помощи двух шариков или роликов, оси которых параллельны оси раскатываемого колесного центра. Схема такой накатки представлена на рис. 1. На рисунке 1 – обрабатываемая деталь; 2 – накатной (раскатной инструмент).

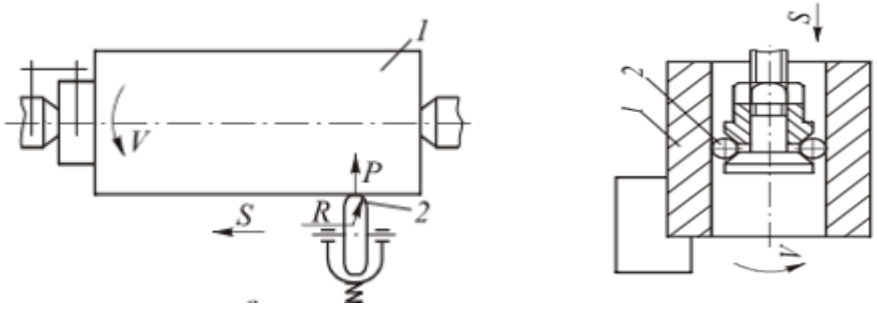


Рис. 1. Схема накатки оси тепловоза и раскатки отверстия в колесном центре

В процессе накатки появляется относительное скольжение поверхности оси и накатного инструмента. Это приводит к тому, что на поверхности накатываемой тепловозной оси обрабатываемый материал течет в разных направлениях. При такой обработке контактные линии на поверхности обрабатываемого изделия параллельны оси. Это приводит к тому, что ролик внедряется в обрабатываемый метал, гонит вдоль поверхности оси волну пластически деформируемого металла. С увеличением подачи инструмента увеличивается шаг волны или винтовой линии.

Для устранения таких недостатков необходимо развернуть контактные линии по отношению к обрабатываемой поверхности, для чего необходимо изменить схему накатки, т.е. накатывать детали при скрещивающихся осях накатываемого изделия и накатного инструмента.

В этом случае накатной инструмент должен проектироваться на заготовках вида однополостной гиперболоид.

Целью теоретических исследований является получение исходной инструментальной поверхности, разработка принципиальной схемы формообразования поверхности накатываемой детали на основе анализа процесса взаимодействия цилиндрической и гиперболоидной поверхностей.

Последовательность расчетов следующая. На основе данных про гиперболоидный накатник определяется уравнение его криволинейных образующих. Вводятся системы координат, связанные со звеньями станочного зацепления. Составляются формулы преобразования координат в виде квадратных матриц четвертого порядка $M_{i,j}$, i, j – индексы систем координат. В обозначении матриц индекс, стоящий первым, обозначает систему координат, в которую переводится старая система. Определяется связь между координатами обоих систем координат.

Определяется огибающая однопараметрического семейства поверхностей или семейство поверхностей гиперболоидного инструмента. Задается уравнение обрабатываемой цилиндрической поверхности в виде:

$$r_1 = r_1(v, \psi), \tag{1}$$

где: v и ψ - переменные параметры (криволинейные координаты поверхности).

Выполняем переход к соответствующей системе координат и получаем запись семейства огибающих в виде:

$$\begin{aligned} x &= f(x_1, \varphi_1, \varphi_2, \gamma, y, z), \\ y &= f(y_1, \varphi_1, \varphi_2, \gamma, x, z), \\ z &= f(z_1, \varphi_1, \varphi_2, \gamma, y, x), \end{aligned} \tag{2}$$

где: x, y, z - новые координаты, x_1, y_1, z_1 - старые координаты, φ_1, φ_2 - углы поворота накатываемой детали и гиперболоидного инструмента соответственно.

Определяется уравнение радиус-вектора и орта нормали производящей поверхности. Определяются условия существования теоретической производящей поверхности гиперболоидного инструмента.

Определяются условия непрерывности касания поверхности накатываемой детали и гиперболоидного инструмента в виде:

$$\left[\frac{\partial \vec{r}}{\partial v} \times \frac{\partial \vec{r}}{\partial \psi}\right] \frac{\partial \vec{r}}{\partial \varphi} = 0. \tag{3}$$

Для определения уравнения поверхности при станочном зацеплении необходимо переписать в неподвижную систему координат уравнение производящей поверхности согласно формуле:

$$\bar{r}_u^{(0)} = M_{oi} \bar{r}_u, \tag{4}$$

где: $\bar{r}_u^{(0)}, \bar{r}_u$ - радиус-векторы, которые определяют производящую поверхность в неподвижной и существующей системах координат соответственно, M_{oi} - матрица перехода.

Рассмотрим уравнение (3) совместно с уравнением зацепления

$$\bar{e}_u^{(0)} \overline{V}_{ui}^{(0)} = 0, \tag{5}$$

где: $\bar{e}_u^{(0)}$ - вектор нормали, $\overline{V}_{ui}^{(0)}$ - вектор относительной скорости.

В уравнениях (4) и (5) верхний индекс, который заключен в скобки, указывает на систему, в которой записываются уравнения.

К основным параметрам процесса формообразования поверхности накатываемой или раскатываемой детали гиперболоидным инструментом относятся:

1. Относительная скорость скольжения;
2. Суммарная скорость движения обрабатываемых поверхностей в направлении, перпендикулярном линиям контакта;
3. Угол между вектором относительной скорости скольжения и направлением линий контакта;
4. Удельные скольжения при накатывании поверхностей гиперболоидными инструментами;
5. Длина линий контакта;
6. Приведенная кривизна контактирующих поверхностей.

С учетом выражения относительной скорости скольжения и нормали к обрабатываемой поверхности, можно определить радиус-вектор на поверхности гиперболоидного инструмента в следующем виде:

$$r_1 = r_1(v, \psi) = (x_1(v) - r)\vec{i} + y_1(v)\vec{j} + z_1(\psi)\vec{k}, \tag{6}$$

с учетом прохождения через точку двух координатных линий, связанных со скоростью относительного движения и углом скрещивания осей.

Активные поверхности могут иметь особенные и узловые точки. В особенных точках нормаль поверхности не определена, вследствие чего неопределенными являются условия касания огибающей поверхности и поверхности, которую огибают. Особые точки отвечают, как правило, точкам граничной линии производящей поверхности. Узловые точки являются точками касания или пересечения характеристик взаимоогибающихся поверхностей.

Присутствие таких точек на активной поверхности инструмента является нежелательным, т.к. геометрическое место осевых точек определяет границу подмятой части поверхности, а в узловых точках возникают неблагоприятные кинематические условия создания масляного клина.

Для построения уравнения поверхности гиперболоидного инструмента необходимо рассмотреть данную поверхность как огибающую поверхности при двухпараметрическом огибании. В качестве параметров при двухпараметрическом огибании рассматриваются вращение и подача инструмента.

На основании рассмотрения схем однопараметрического и двухпараметрического огибания исследуется возможность построения схемы обработки цилиндрической детали, закладываемой в моделирование при создании гиперболоидного инструмента.

Аналитически на основе уравнений поверхности обрабатываемой детали с учетом заданного угла скрещивания осей определяем профиль гиперболоидного инструмента для накатки валов и раскатки отверстий в колесном центре.

Для проведения анализа процесса накатки деталей аналитически описываем основные параметры процесса: относительную скорость скольжения, суммарную скорость движения накатываемых поверхностей в направлении, перпендикулярном линиям контакта, угол между вектором относительной скорости скольжения и направлением линий контакта, удельные скольжения при накатывании поверхностей гиперболоидными инструментами, длину линий контакта, приведенную кривизну контактирующих поверхностей.

В результате проведенных исследований был разработан накатной инструмент для накатки осей локомотива. Схема накатки при помощи разработанного инструмента представлена на рис.2.

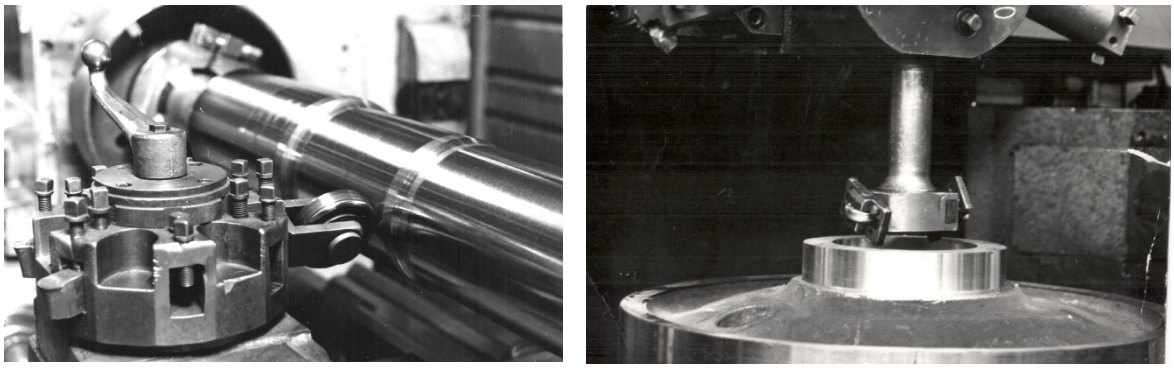


Рис. 2. Накатка оси локомотива и раскатка отверстия в колесном центре при помощи разработанного инструмента

Раскатка отверстий в колесном центре тепловоза осуществлялась на токарно карусельном станке. Для такой раскатки было изготовлено специальное приспособление (оправка). В оправке сконструировано два ролика которые распирает специально подобранная пружина. Схема такой раскатки представлена на рис. 2.

Разработанный инструмент и приспособления позволили устранить волну пластически деформированного металла, бегущую перед роликом. Разработанная технология позволила стабилизировать параметры накатанных и раскатанных поверхностей, что снизило брак при запрессовке оси в колесный центр.

Список литературы: **1.** Браславский, В. М. Технология обкатки крупных деталей роликами / В. М. Браславский. – М.: Машиностроение, 1975. – 159 с. **2.** Ильин Л.Н. Основы учения о пластической деформации / Л. Н. Ильин. – М.: Машиностроение, 1980. – 150 с. **3.** Кудрявцев, И. В. Усталость крупных деталей машин / И.В. Кудрявцев. – М.: Машиностроение, 1981. – 237 с. **4.** Родин, П. Р. Основы проектирования режущих инструментов / П. Р. Родин. – К.: Вища школа, 1990. – 424 с. **5.** Сахаров, Г.Н. Обкаточные инструменты / Г. Н. Сахаров – М.: Машиностроение, 1983. – 232 с. **6.** Школьник, Л. М. Технология и приспособления для упрочнения и отделки деталей накатыванием. / Л. М. Школьник, Шахов В. И. – М.: Машиностроение, 1964. – 184 с. **7.** Шнейдер, Ю. Г. Чистовая обработка металлов давлением / Ю. Г. Шнейдер. – М.: Машгиз, 1963. – 270 с.

ФРАГМЕНТИРОВАННОЕ КЭШИРОВАНИЕ В ОБЛАЧНЫХ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМАХ

*** Вишневский С.А., ** Герасимов А.В.** *(Казанский национальный исследовательский технологический университет, Казань, Россия)*
*E-mail: * s.vishnevskii@yandex.ru ; ** gerasimov@kstu.ru*

Abstract. *Methods of designing queuing systems for computing or server architecture are considered, in which tasks or network load are distributed between service providers, called servers. The Little theorem and Markov chains on open and closed systems are considered.*
Keywords: *the server, load distribution, latency.*

За последние десятилетия требования к бизнес моделям программного обеспечения в различных корпорациях сильно изменились. Постепенно эволюционируя от традиционной локальной модели к удаленной модели, которая также называется «программное обеспечение как услуга» (SaaS). Модель SaaS предоставляет программные приложения через интернет, которые называются веб- приложениями. Программное обеспечение размещается на серверах провайдера, и все операции по обслуживанию становятся обязанностью провайдера. В отличие от локальной модели, пользователи имеют доступ к услуге в любом месте и в любое время, пока в наличии имеется устройство с доступом в Интернет [1]. Также одним из преимуществ по сравнению прикладным программным обеспечением, устанавливаемым локально на устройство пользователя, является то, что пользователи модели SaaS имеют последнюю версию всех программных и сервисных услуг, поставляемых провайдером. Ограничением и проблемой служит скорость ответа сервера, который обрабатывает запросы клиента по сетевым протоколам, в свою очередь, создавая нагрузку на определённый узел системы. На обработку запроса требуется время. Скорость ответа – латентность, для подобных систем является одним из требований к проектированию.

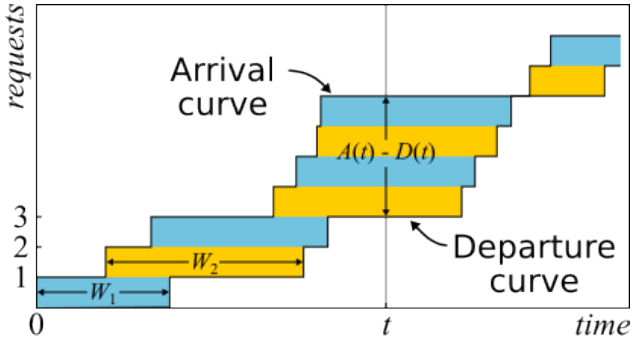


Рис. 1. Входящий и выходящий трафик запросов в системе

Феномен латентности начали систематически исследовать с появлением систем массового обслуживания, таких как телефонные сети. Рассмотрим теорему Литтла так как она применима к системам с любым входным потоком [1]. Единственное требование в том, что система должна быть стабильна: имеются средние значения времени ответа сервера и длины очереди, тогда они связаны выражением. $L = \lambda W$, где L – среднее время запросов в рассматриваемой части системы, W – среднее время, за которое запросы проходят через данную часть системы, λ – скорость поступления запросов.

Наш входящий трафик (рис. 1) опишем функцией $A(t)$ – число запросов, которые вошли в систему к моменту времени t. Число запросов, которые вышли к моменту времени t опишем как $D(t)$. Посмотрим на график этих функции в осях: *time* – время поступления запроса, *requests* – число запросов.

Можем увидеть, что $A(t) – D(t)$ – это число запросов в системе в момент t, Wn – это время отклика n- го запроса [3]. Утверждение, что образование очереди является следствием недостаточных мощностей не верное, в таком случае система нестабильна. Очередь возникает от нерегулярности поступления запросов и вариативность их размера. Теория

массового обслуживания предполагает, что обе причины носят случайный характер и описываются случайными величинами.

Утверждение, что образование очереди является следствием недостаточных мощностей не верное, в таком случае система нестабильна. Очередь возникает от нерегулярности поступления запросов и вариативность их размера. Теория массового обслуживания предполагает, что обе причины носят случайный характер и описываются случайными величинами.

Воспользуемся цепями Маркова. Для ТМО используют автомат, состояние которого – это число запросов в системе. Каждое событие в системе считается за «новый запрос», который переводит автомат в другое состояние, а событие «завершение обслуживания» - обратно. Пример работы алгоритма показан на рис. 2.

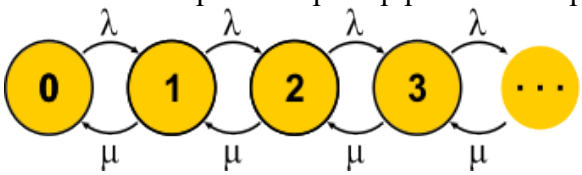


Рис. 2. Цепи Маркова

Если, допустим, имеется множество таких автоматов, где каждый автомат цепи случайно перебывает из одного состояния в другое [2]. Рассмотрим состояние 0 на рис. 2. Чтобы число автоматов в этом состоянии оставалось неизменным, необходимо чтобы скорость их поступления – μNi была уравновешенна скоростью переходов в другие состояния – λNi, где N – это автомат в цепи, i – индекс автомата. Уравнений таким образом становится столько же, сколько и неизвестных по числу состояний [3].

При рассмотрении входящего потока заявок упущен так называемый «планировщик». Вышеописанные примеры подразумевали FIFO (first in, first out — первым пришёл — первым ушёл») – обработку. Используя планировщик задач, можно значительно увеличить скорости ответа сервера, так как задачи, которые на него поступают, будут отложены к выполнению на нужный нам промежуток времени, таким образом, узлы сервера менее загружены для обработки существующих задач в системе. Предположение независимости Клейнрока. Время обработки запроса не может зависеть от истории или класса запроса, а определяется только сервером и при повторном прохождении запроса через один сервер каждый раз выбирается случайно. Фактически отсутствует возможность задавать размеры запроса, который используется в разных серверах, а время обслуживания определяется только сервером. Это ограничение тоже можно пытаться обойти. Для этого обычно используют вероятностную маршрутизацию и делают петлю для возврата в тот же сервер с некоторой вероятностью — «как бы перезапускают» запрос. На первый взгляд, это довольно странная реализация, т.к. запрос повторно встаёт в очередь, а не выполняется сразу, однако для некоторых задач это не важно.

Список литературы: 1. Быков М.Ю. Повышение производительности динамического Web-сайта с помощью многоуровневой системы кэширования. //Тезисы докладов 9-й Всероссийской межвузовской научно-технической конференции студентов и аспирантов «Микроэлектроника и информатика - 2002». М. МИЭТ, 2002. **2.** Aden David, Porta Ben, Kerr Roger, Kim Larry, Lei Andre, Smith Edwin, Stirling Scott M. Java Server Pages Application Development. SAMS, 2000. **3.** Браун Крис, Калбертсон Роберт, Кобб Гэри. Быстрое тестирование. М.: Издательский дом «Вильяме». 2018.

АНАЛИЗ УРАВНЕНИЯ ЭНЕРГИИ В СЛУЧАЕ ТЕЧЕНИЙ С ИСТОЧНИКОМ ТЕПЛА, ОГРАНИЧЕННЫМ ПО ПРОДОЛЬНОЙ КООРДИНАТЕ

Герасимов А. В., Кирпичников А. П., Сабирова Ф. Р.
(*КНИТУ, г. Казань, Россия*)
Тел./Факс: +7 (843) 2314188; E-mail: gerasimov@kstu.ru

Abstract: *The analysis of energy balance equation for viscous laminar flow of fluid or gas in the cylindrical channel in the area (zone)of warm up bounded along the longitudinal coordinate is made. It was found that at laminar flow of fluid or gas in a round pipe, in each warm up area bounded along the longitudinal coordinate there are the areas of direct and reverse flows separated by a plane that is a locus of points where temperature is maximal for each fixed value of radial coordinate r. The received results also explain occurrence of returnable currents in plasma of the high-frequency induction discharge of atmospheric pressure.*

Key words: *equation of the balance of energy, viscous laminar flow, velocity of plasma, surface of revolution.*

В цикле работ [1–3], посвящённых особенностям теплообмена и газодинамики высокочастотной индукционной плазмы, в рамках классической теплофизики был получен ряд результатов, касающихся газодинамической структуры высокочастотного индукционного (ВЧИ) разряда при атмосферном давлении. В работе [1] введено понятие неподвижной точки ВЧИ разряда, в которой все три компоненты скорости плазмообразующего газа обращаются в нуль, и показано, что она соответствует точке на оси плазмоида, в которой значение его осевой температуры максимально. В работе [3] установлено, что внутри плазмоида ВЧИ разряда при атмосферном давлении области прямого и возвратного течений разделяет некоторая поверхность вращения, представляющая собой геометрическое место точек, в которых температура разряда максимальна при каждом фиксированном значении радиальной координаты r. Таким образом, неподвижная точка высокочастотного индукционного разряда может рассматриваться как частный случай более общего физического явления — поверхности с нулевой осевой скоростью, разделяющей прямое и возвратное течения в газоразрядной камере ВЧИ плазмотрона. Наличие неподвижной точки, лобового и кормового вихрей в разрядной камере ВЧИ плазмотрона подтверждается как результатами численных расчетов, так и соответствующими экспериментальными данными других авторов [4-5]. В работе [3] было высказано предположение о том, что установленное явление должно быть свойственно более широкому кругу объектов, имеющих внутренний источник тепла, ограниченный по продольной координате. В работе [6] это явление рассмотрено как свойственное достаточно широкому классу течений в цилиндрических каналах при наличии внутри этих каналов одной или нескольких зон прогрева (внутренней или внешней), ограниченных по продольной координате.

Рассмотрим уравнение, описывающее баланс энергии вязкого ламинарного течения жидкости или газа внутри цилиндрического канала в области (зоне) прогрева, ограниченной по продольной координате. В общем виде оно записывается как

$$\frac{1}{r}\frac{\partial}{\partial r}\left(\lambda r\frac{\partial T}{\partial r}\right)+\frac{\partial}{\partial z}\left(\lambda\frac{\partial T}{\partial z}\right)+Q_r(r,z)=\rho c_p\left(v_r\frac{\partial T}{\partial r}+v_z\frac{\partial T}{\partial z}\right) \qquad (1)$$

Очевидно, что слагаемое Q(r, z) отлично от нуля только в том случае, если тепло вкладывается сразу в весь объем канала, например, путем ВЧ или СВЧ прогрева, в противном случае, когда нагрев трубы осуществляется путем подвода тепла к ее

внешней поверхности, Q(r, z) = 0. Из уравнения баланса (1) исключены слагаемые, учитывающие вязкий нагрев и сжимаемость среды, поскольку величина их заведомо мала по сравнению с величинами, обеспечиваемыми внешним источником тепла.

Из уравнения (1) следует

$$v_z(r,z) = \frac{\frac{1}{r}\frac{\partial}{\partial r}\left(\lambda r \frac{\partial T}{\partial r}\right) + \frac{\partial \lambda}{\partial T}\left(\frac{\partial T}{\partial z}\right)^2 + \lambda \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} + Q(r,z) - \rho c_p v_r \frac{\partial T}{\partial r}}{\rho c_p \frac{\partial T}{\partial z}} \quad (2)$$

Рассмотрим теперь условно семейство коаксиальных, соосных каналу цилиндрических поверхностей, последовательно заполняющих все его внутреннее пространство и соответствующих определенным значениям радиальной координаты r канала. В силу непрерывности этой координаты таких поверхностей будет бесконечное множество, причем та из них, которая соответствует значению r = 0, вырождается в ось канала, а та, которая отвечает значению r = R, совпадает с его стенкой. На каждой из этих вспомогательных цилиндрических поверхностей выделим окружность, соответствующую внутри каждой зоны прогрева, ограниченной по аксиальной координате, максимальной температуре этой поверхности, что всегда возможно, поскольку все зоны прогрева по длине ограничены. Очевидно, что в силу непрерывности этого семейства поверхностей, выделенные таким образом окружности в свою очередь образуют некоторую цилиндрически симметричную поверхность вращения Ω_0, ось которой совпадает с осью цилиндрического канала и которую можно описать уравнением

$$\left.\frac{\partial T}{\partial z}\right|_{\Omega_0} = 0 \quad (3)$$

Далее в соответствии с методикой [3] определим место тех точек, для которых выполняется условие (3), то есть рассмотрим поверхность Ω_0 внутри канала, в точках которой значение температуры для каждого фиксированного значения радиальной координаты r максимально. Во всех точках поверхности (3) знаменатель формулы (2) обращается в нуль, а это значит, что в нуль доложен обращаться также и числитель этого выражения, поскольку значение продольной скорости v_z как физической величины должно быть всюду конечным. При этом в точках поверхности Ω_0, в силу (2), очевидно

$$\frac{1}{r}\frac{\partial}{\partial r}\left(\lambda r \frac{\partial T}{\partial r}\right) + \frac{\partial \lambda}{\partial T}\left(\frac{\partial T}{\partial z}\right)^2 + \lambda \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} + Q(r,z) - \rho c_p v_r \frac{\partial T}{\partial r} = 0$$

откуда поперечная составляющая скорости

$$v_r(r,z)\big|_{\Omega_0} = \frac{\frac{1}{r}\frac{\partial}{\partial r}\left(\lambda r \frac{\partial T}{\partial r}\right) + \frac{\partial}{\partial z}\left(\lambda \frac{\partial T}{\partial z}\right) + Q(r,z)}{\rho c_p \frac{\partial T}{\partial r}} = \frac{\frac{1}{r}\frac{\partial}{\partial r}\left(\lambda r \frac{\partial T}{\partial r}\right) + \lambda \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} + Q(r,z)}{\rho c_p \frac{\partial T}{\partial r}} \quad (4)$$

Вернемся теперь к уравнению (2) и проанализируем поведение всех его слагаемых при переходе через поверхность Ω_0 Ясно, что в точках поверхности Ω_0 знаменатель меняет знак при переходе через поверхность Ω_0 поскольку $\frac{\partial T}{\partial z} > 0$ при $z < z(\Omega_0)$ и $\frac{\partial T}{\partial z} < 0$ при $z > z(\Omega_0)$.

Ни одно из слагаемых числителя, однако, не меняет свой знак при переходе через поверхность Ω_0: слагаемые $\frac{1}{r}\frac{\partial}{\partial r}\left(\lambda r \frac{\partial T}{\partial r}\right)$, $Q(r,z)$, $\rho c_p v_r \frac{\partial T}{\partial r}$ — в силу того, что они зависят только от температуры и ее радиальных (а не аксиальных) производных, а изменение поперечной составляющей скорости в силу формулы (4) невелико; слагаемое $\lambda \frac{\partial^2 T}{\partial z^2}$ отрицательно и справа и слева от этой поверхности; знак же слагаемого $\frac{\partial \lambda}{\partial T}\left(\frac{\partial T}{\partial z}\right)^2$ очевидно, определяется знаком производной $\frac{\partial \lambda}{\partial T}$ и также не зависит от того, с какой стороны поверхности Ω_0 она рассматривается. Как видим, ни одно из слагаемых числителя формулы для $v_z(r,z)$ не меняет знака при переходе через поверхность Ω_0, таким образом, числитель сохраняет свой знак всюду в окрестности этой поверхности, то есть стремится к нулю справа и слева от поверхности Ω_0 с одним и тем же знаком. Это в свою очередь означает, что продольная скорость $v_z(r,z)$ во всех точках, принадлежащих Ω_0, меняет знак, то есть обращается в нуль в точках этой поверхности:

$$v_z(r,z)\big|_{\Omega_0} = 0$$

Физический смысл этого выражения состоит в том, что поверхность Ω_0 является поверхностью, разделяющей направленные в противоположные стороны потоки жидкости или газа внутри области (зоны) прогрева, ограниченной по продольной координате z. На рис. 1 представлена кинематическая схема такого течения.

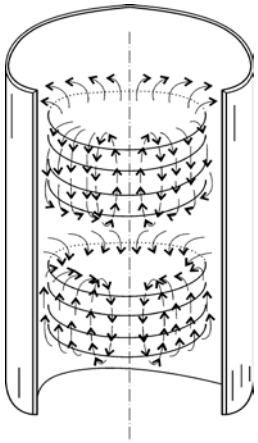


Рис. 1. Кинематическая схема течения в зоне прогрева

Следует отметить, что близкие результаты были также получены в цикле работ [7-9]. В этих работах рассмотрены положения о формировании, развитии и свойствах конвективных кумулятивно-диссипативных структур. При этом было показано, что при достижении запасённой в конвективной среде энергии некоторого критического значения в этой среде формируются топологически сложные 3D кумулятивно-диссипативные структуры с синергетнчески сопряженными противоположно направленными конвективными вращающимися энерго-масссово-импульсными потоками с различающимися фазовыми состояниями, в частности, в тропических циклонах, с и без паров воды. Эти структуры из двух сопряжённых и вращающихся в противоположных направлениях циклонического и антициклонического потоков профилем внешнего давления фокусируются в устойчивый бициклон (бициклон Ф.И. Высикайло). Автором работ [8-11] исследован энергетический 3D механизм функционирования такого бициклона с помощью теоремы вириала. При этом, в

частности, показано, что противоположно направленные потоки в сопряжённом бициклоне могут эффективно трансформировать любую внутреннюю и потенциальную анергию в энергию вращения, обмениваясь кинетической энергией, импульсом и моментом количества движения, так как являются направляющими динамическими границами друг для друга. Интересно отметить, что, как указано в [11], первыми исследователями ннтерференции гравитационных и инерционных потенциалов, приводящей к формированию точек либрации и кумуляции энерго-массово-импульсных потоков являются Л. Эйлер и Ж. Лагранж, открывшие пять точек либрации (кумуляции) в динамической системе Солнце-Юпитер. При этом две треугольные точки либрации, открытые Ж. Лагранжем, являются центрами аттракторов для формирования кумулятивно-диссипативных структур – Троянцев, скопления малых тел на орбите Юпитера, открытых в 1906 г.

Таким образом, полученный нами ранее в работе [5] результат, можно сформулировать ещё и следующим образом. Внутри высокочастотного индукционного разряда, горящего на воздухе при атмосферном давлении, формируется устойчивый бициклон, который вследствие двух вращающихся в противоположных направлениях энерго-массово-импульсных потоков обеспечивает зону пониженного давления в центре плазмоида. При этом наличие устойчивого бициклона приводит к конвективной сепарации свойств среды, в которой этот бициклон существует, и тем самым, является решающим фактором существования устойчивого высокочастотного индукционного разряда, горящего в потоке плазмообразующего газа в стволе цилиндрического канала при атмосферном давлении.

Список литературы: 1.Герасимов А.В., Кирпичников А.П. Неподвижная точка высокочастотного индукционного разряда // ТВТ. 1999. Т. 37, № 3. С. 504–505. **2.** Герасимов А.В., Кирпичников А.П. Влияние профиля осевой температуры на профиль осевой скорости в высокочастотном индукционном разряде // Прикладная физика. 2003. Т. 39, № 3. С. 671–675. **3.** Герасимов А.В., Кирпичников А.П. Поверхность раздела прямого и возвратного течений в высокочастотном индукционном разряде //Докл. РАН. 2003. Т. 389, № 2. С. 177–179. **4.** Гойхман В.Х., Кузьмина В.С. К расчету поля скоростей течения газа в индукционном ВЧ разряде // Тр. XXVII Герценовских чтений. Физическая электроника. Ч. 2. Электроника низкотемпературной плазмы. Л.: ЛГПИ, 1974. С. 66–72. **5.** Дресвин С.В., Эль-Микати Х. Измерение и расчет газодинамических параметров индукционного высокочастотного разряда // ТВТ. 1977. Т. 15, № 6. С. 1158–1164. **6.** Герасимов А.В., Кирпичников А.П. О газодинамике и теплообмене течений в цилиндрических каналах при наличии источников тепла, ограниченных по продольной координате // Теплофизика и аэромеханика. 2013. Т. 20, №4. С. 439-443 **7**. Philipp I. Vysikaylo Cumulative Point—L1 Between Two Positively Charged Plasma Structures (3-D Strata) IEEE TRANSACTIONS ON PLASMA SCIENCE 2004 pp.1-5. **8.** P. I. Vysikaylo, “Points, lines and surfaces of Vysikailo–Euler libration (cumulation) in nonuniform structures in plasma with current,” in Proc. 37th Int. Conf. Phys. Plasma CTNF, Zvenigorod, Russia, 2010, p. 311. **9.** P. I. Vysikaylo, “Detailed elaboration and general model of the electron treatment of surfaces of charged plasmoids (from atomic nuclei to white dwarves, neutron stars, and galactic cores): Self-condensation (self-constriction) and classification of charged plasma structures— Plasmoids part 1. General analysis of the convective cumulative dissipative processes caused by the violation of neutrality: Metastable charged plasmoids and plasma lenses,” Surf. Eng. Appl. Electrochem., vol. 48, no. 1, pp. 11–21, 2012.

УПРОЧНЯЮЩАЯ ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ДВОЙНОЙ ЛАТУНИ С ЗАКАЛКОЙ ИЗ β-ОБЛАСТИ

Горбатенко В.П. *(ДОННТУ, г. Донецк, ДНР)*
Тел.: +38 (062) 3063530; E-mail: fm@fizmet.donntu.org

Abstract: *There is substantiated the possibility of effective hardening of double brass with zinc content less than its ultimate solubility in α-solid solution by quenching from single-phase β- region with following tempering. It was determined, that the formation of two-faze structure after quenching is the result of shear transformation β→α with retention of significant part of initial β- phase in supersaturated state. Quenching didn't cause of brass hardness increasing. There are discussed the possible causes of brass hardening and following softening during of tempering under the raised temperatures.*
Key words*: brass, hardening, quenching, tempering, shear transformation, structure.*

Двойные латуни, являющиеся самыми дешевыми из всех сплавов на медной основе, нашли широкое применение в машиностроении как эффективный конструкционный материал, характеризующийся невысоким коэффициентом трения, высокими коррозионной стойкостью и пластичностью, хорошей технологичностью. Однако они часто уступают по прочностным свойствам как легированным латуням, так и многим бронзам. Поэтому поиск методов повышения их прочностных свойств с целью как улучшения эксплуатационных характеристик изделий, так и возможной замены более дорогих материалов является актуальной задачей.

Двойные латуни, содержащие до 39 % цинка и называемые обычно α-латунями, упрочняющей термической обработке обычно не подвергают. Однако установлено, что уже при содержании цинка, превышающем 30…32 %, такие латуни становятся двухфазными и склонными к старению в случае ускоренного охлаждения после отжига или деформации [1]. В связи с этим можно ожидать заметного эффекта упрочнения латуней с содержанием цинка, близким к пределу его растворимости в α-твердом растворе, при реализации закалки с последующим отпуском (старением). В ряде работ имеются сведения о том, что в двухфазных (α+β)-латунях, а также в специальных (легированных) латунях при быстром охлаждении из β-области распад β-фазы может происходить по сдвиговому (т.н. мартенситному) механизму [1-3]. Для двойных латуней с содержанием цинка до 39 % такое превращение ранее не изучали.

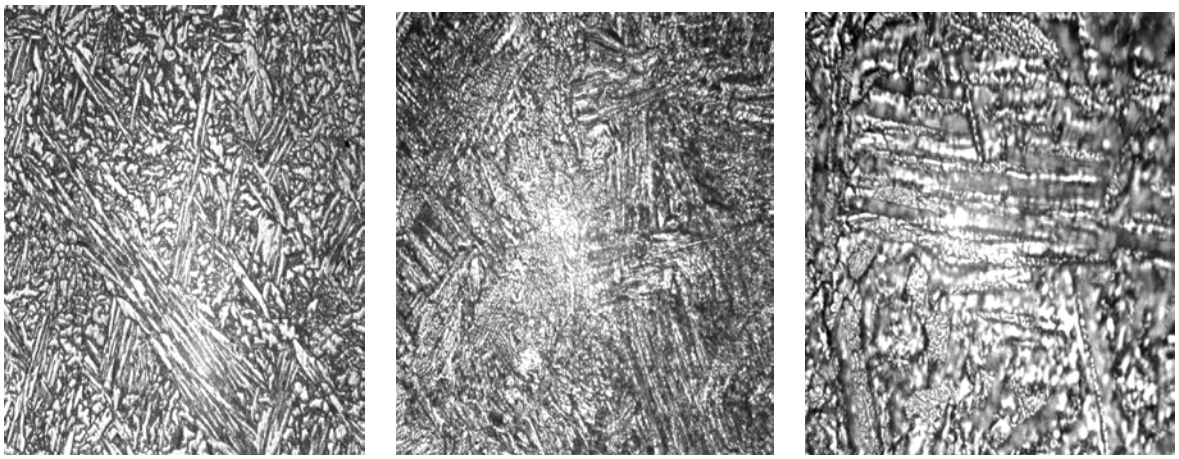
Целью данной работы является исследование эффективности упрочнения двойной латуни с содержанием цинка, близким к его предельной растворимости в α-твердом растворе, при реализации закалки из однофазной β-области и последующего отпуска при различных температурах.

Исследования выполняли на латуни марки Л63, содержащей 37,5 % цинка (остальное – медь). Образцы, изготовленные из проката диаметром 25 мм после рекристаллизационного отжига нагревали до температуры 830±10 ºС, выдерживали 15…20 минут для получения однофазной структуры, состоящей из кристаллов β-фазы, после чего охлаждали в воде. После этого образцы подвергали отпуску с разной длительностью, изменяющейся в пределах от 15 до 120 минут при температуре отпуска 230…250 ºС и от 5 до 30 минут при температуре отпуска 330…350 ºС.

Закалка из однофазной β-области не приводила к упрочнению латуни в сравнении с исходным состоянием: твердость перед закалкой составляла HV 1250±20 Н/мм^2, а после закалки – HV 1210±20 Н/мм^2.

Структура латуни в исходном (отожженном) состоянии была двухфазной и по фазовому составу включала 68 % кристаллов α- твердого раствора и 32 % кристаллов β'-фазы. Из анализа рисунка 1, а следует, что в результате закалки из β-области

формируется мартенситоподобная структура, состоящая из кристаллов α- твердого раствора в форме игл или чаще пластин (светлая составляющая) и «остатков» β-фазы (темная составляющая) при количественном соотношении α : β = 53 : 47. Такая форма кристаллов α- твердого раствора может свидетельствовать о том, что превращение β→α при быстром охлаждении произошло по сдвиговому механизму. Образовавшаяся α-фаза будет пересыщенным (по цинку) твердым раствором на основе меди, а промежуточная β-фаза будет пересыщена медью. Следовательно, обе эти фазы после закалки являются метастабильными и будут способны к распаду в ходе последующего отпуска.



а б в

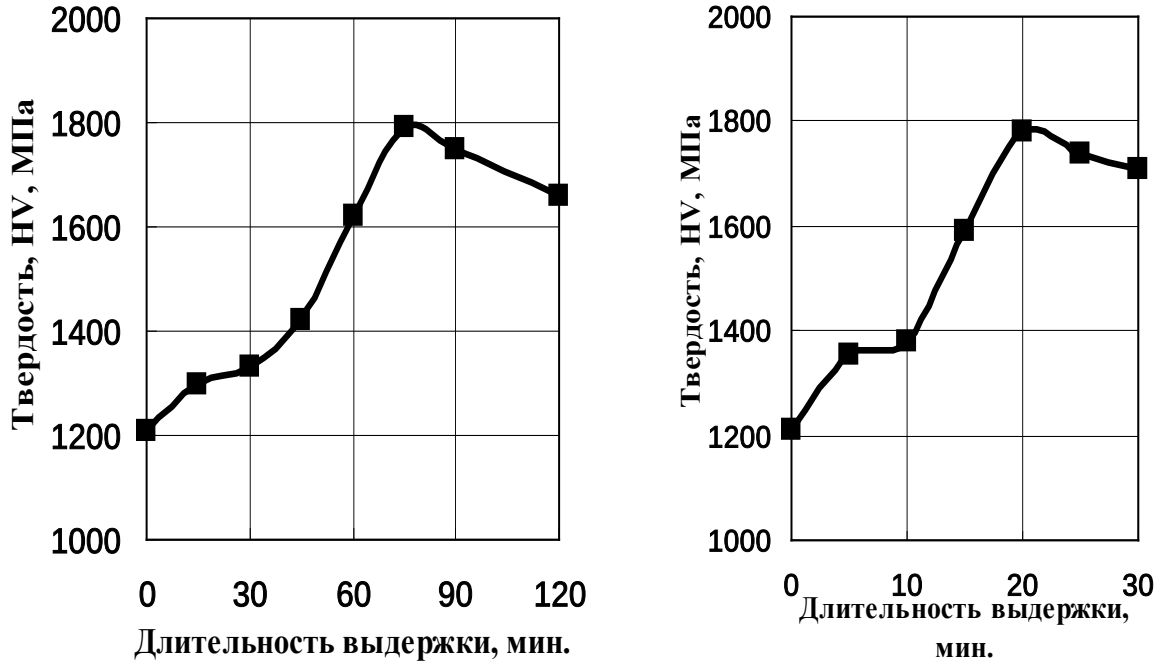
Рис. 1. Микроструктура латуни после закалки (а) и последующего старения при 230…250 ºС с выдержкой 75 (б) и 120 (в) минут: а – х500; б – х1000; в – х2000

Рисунок 2 иллюстрирует характер изменения твердости латуни в результате отпуска. При реализации отпуска при температуре 230…250 ºС повышение твердости на 40…43 % происходит с увеличением длительности выдержки до 75 минут (рис. 2, а) Дальнейшее увеличение длительности выдержки до 120 минут приводило к небольшому разупрочнению латуни.

Повышение температуры отпуска до 330…350 ºС приводит к смещению максимума твердости в сторону меньшей длительности выдержки - до 20…25 минут. (рисунок 2, б). При этом максимальное достигаемое значение твердости после отпуска мало отличается от такового в случае более низкой его температуры.

Высокотемпературный нагрев под закалку обеспечивает получение однофазной структуры латуни, представляющей собой кристаллы промежуточной β-фазы переменного состава на основе электронного соединения CuZn с концентрацией цинка, соответствующей таковой в сплаве (37,5%). В результате последующего быстрого охлаждения (в воде) часть исходной β-фазы претерпевает сдвиговое превращение в α-твердый раствор цинка в меди с той же концентрацией цинка. Кристаллы α-твердого раствора приобретают преимущественно форму пластин (рисунок 1, а). Другая часть исходной β-фазы сохраняется непревращенной вплоть до комнатной температуры.

Вследствие быстрого охлаждения процессы упорядочения в β-фазе не происходят, поэтому сплав в закаленном состоянии сохраняет высокую пластичность и достаточно хорошо деформируется в холодном состоянии. Как отмечалось выше, закалка латуни, несмотря на развитие фазового превращения β→α по сдвиговому механизму, не приводит к упрочнению сплава.



а б

Рис. 2. Влияние длительности выдержки при отпуске при температурах 230…250ºС (а) и 330…350ºС (б) на твердость латуни.

Основными факторами, обуславливающими упрочнение латуни в процессе отпуска, являются следующие: 1) распад пересыщенного (по цинку) α-твердого раствора: $\alpha_{пер.} \rightarrow \alpha + \beta$; 2) распад пересыщенной медью β-фазы: $\beta_{пер.} \rightarrow \beta + \alpha$; 3) процесс упорядочения β-фазы: $\beta \rightarrow \beta'$. При этом основной вклад в упрочнение сплава следует ожидать в результате распада пересыщенного α-твердого раствора, когда по границам и внутри его пластин выделяются дисперсные включения более твердой β-фазы (рис. 1, б, в). Распад пересыщенной β-фазы путем выделения из нее дисперсных включений α-твердого раствора происходит медленнее и его активного развития следует ожидать при более длительных выдержках, а также с повышением температуры старения. α-фаза является более мягкой в сравнении с β-фазой, поэтому эффект упрочнения сплава вследствие распада пересыщенной промежуточной фазы переменного состава может быть ожидаемо небольшим.

При реализации закалки и отпуска включения α-твердого раствора внутри зерен β-фазы наблюдали в оптическом микроскопе после выдержки длительностью 75 и более минут (рисунок 1, б, в). Следовательно, можно полагать, что достижению максимума твердости способствует развитие процессов распада обеих метастабильных фаз, однако, вклад в упрочнение процесса распада β-фазы может быть менее заметным, чем процесса распада α-твердого раствора.

Значительного упрочнения латуни следует ожидать в результате развития процесса упорядочения в промежуточной β-фазе, поскольку упорядоченная β′-фаза является значительно более твердой, чем неупорядоченная β-фаза [1]. Однако, при относительно невысоких температурах нагрева этот процесс происходит медленно и его эффект будет заметным лишь при длительной выдержке при отпуске. Можно предположить, что именно благодаря развитию процессов упорядочения β-фазы сохраняется повышенный уровень твердости латуни после отпуска длительностью более 75 минут при 230…250 ºС и более 20 минут при 330…350 ºС (рисунок 2).

Основными же причинами разупрочнения латуни при длительных выдержках в процессе отпуска, как и в случае многих других сплавов, подвергающихся закалке без полиморфного превращения и последующему отпуску (старению) следует считать укрупнение кристаллов α- и β- фаз, выделившихся из соответствующих исходных пересыщенных твердых растворов (рисунок 1, б, в), а также, очевидно, и развитие начальных стадий рекристаллизации в пластинах α-твердого раствора (рисунок 1, в). Одновременное развитие процесса упорядочения в β-фазе, являющегося по воздействию на твердость латуни конкурентным по отношению к указанным выше разупрочняющим факторам, очевидно, может способствовать уменьшению интенсивности снижения твердости сплава с увеличением длительности выдержки при отпуске.

Исходя из анализа полученных данных, при выполнении упрочняющей термической обработки двойной латуни с содержанием цинка, близким к его предельной растворимости в α-твердом растворе, с реализацией закалки с нагревом в однофазную β-область с целью обеспечения максимальной твердости сплава длительность выдержки при отпуске при температуре 230…250 ºС должна составлять 75…90 минут, а при температуре 330…350 ºС – 20…30 минут.

Заключение.

Обоснована возможность существенного упрочнения двойных латуней с содержанием цинка, близким к его предельной растворимости в α-твердом растворе, но не превышающим ее, путем термической обработки, включающей закалку и отпуск, с реализацией закалки с нагревом в однофазную β-область, когда в ходе последующего быстрого охлаждения α-фаза образуется по сдвиговому механизму.

Кривые изменения твердости сплава в зависимости от длительности отпуска характеризуются наличием максимума, который смещается в сторону меньших выдержек с повышением температуры отпуска. Основной причиной упрочнения латуни с увеличением длительности выдержки при отпуске на восходящей ветви кривой можно считать последовательное развитие процесса распада пересыщенного α-твердого раствора с выделением из него более твердых частиц промежуточной β-фазы.

Распад пересыщенной β-фазы является дополнительным фактором упрочнения латуни при термической обработке. Однако он происходит более медленно в сравнении с распадом α-фазы и его интенсивного развития следует ожидать при более длительных выдержках при отпуске.

Список литературы: 1. Колачев Б.А. Металловедение и термическая обработка цветных металлов и сплавов: Учебник для вузов / Б.А. Колачев, В.И. Елагин, В.И. Ливанов.- М.: МИСиС, 2005.- 432 с. 2. Мирзаев Д.А. Особенности превращения β-фазы в сплавах меди при охлаждении в широком интервале температур / Д.А. Мирзаев, В.М. Счастливцев, И.Л. Яковлева // Структура и свойства аустенитных сталей и сплавов: У1 Всероссийская науч.-техн. конф., 10-14 сент. 2001 г.: Тезисы докл. – Екатеринбург, 2001.- С.46. 3. Варлимонт Х. Мартенситные превращения в сплавах на основе меди, серебра и золота / Х. Варлимонт, Л. Дилей.- М.: Наука, 1980.- 205 с.

ОБЗОР ИССЛЕДОВАНИЙ ПРОЧНОСТИ ИЗДЕЛИЙ ПОЛУЧЕННЫХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ FDM - ТЕХНОЛОГИЙ

Горобец И.А., Голубов Н.В., Пикалов Д.А. (*каф. ТМ, ДонНТУ, Донецк, ДНР*)
E-mail: gorobets.ascon@gmail.com

Abstract: *The article provides an overview of the work on the mechanical properties of parts obtained using FDM-technologies, from various materials. The compressive strength, bending, and tensile strength of the samples were investigated. Research results are given.*

Keywords: *Sample, dimensions, material, structure, study, stress, deformation.*

Печать методом послойного наложения (FDM) представляет собой процесс аддитивного производства, который реализовывается благодаря экструзии материалов. В FDM, объект строится путем нанесения расплавленного материала по заранее установленному алгоритму, слой за слоем. Используемые материалы представляют собой термопластичные полимеры и имеют форму нити. Эта технология является альтернативой традиционным технологиям получения деталей машин (обработка резанием, литье и т.д.). Актуальными являются вопросы точности размеров деталей, шероховатость поверхностей, механические свойства деталей получаемых по FDM - технологии. Исследованию этих вопросов посвящено множество работ отечественных и зарубежных исследователей.

В работе [1] рассматриваются вопросы влияние скорости на прочностные характеристики детали изготавливаемой из полимерного материала - термопласта акрилонитрилбутадиенстирола. Для исследований был изготовлен ряд образцов при скорости печати в интервале от 10 до 150 мм/с. При этом исследуемый цилиндрический образец имеет следующие параметры: наружный диаметр 20 мм, внутренний 18 мм, толщина стенки 1 мм, длина изделия 50 мм. Образцы испытывались на сжатие. Во время испытания замеряли разрывное усилие и перемещение.

По результатам обработки замеров получен график зависимости прочности от скорости печати цилиндрических образцов (см. рис. 1).

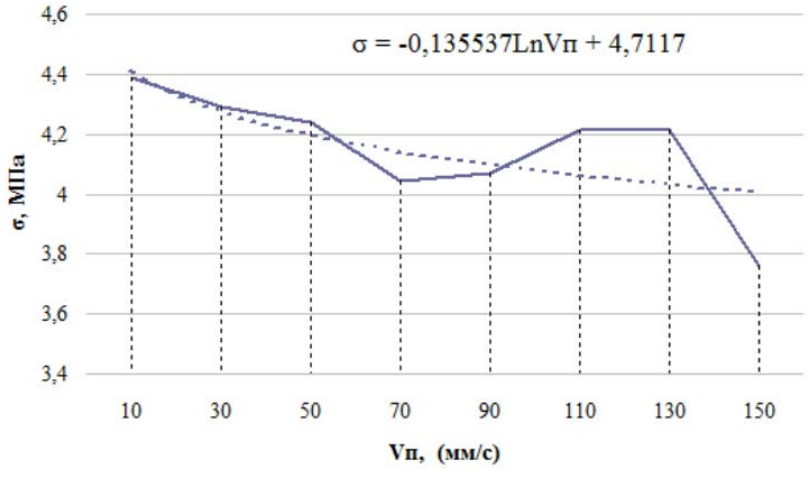


Рис. 1. График зависимости прочности от скорости печати образцов

На полученном графике (рис. 1) явно выделяются четыре области прочности на сжатие испытываемых образцов. В первую область при скорости от 10 до 50 мм/с попадают изготовленные образцы при печати с повышенной прочностью на сжатие (4,38- 4,24 МПа). В третью область при скорости печати от 100 до 130 мм/с попадают

образцы имеющие прочность 4,21 МПа. В четвертой области при скорости 150 мм/с идет резкое снижение прочностных свойств.

В работе [2] исследовано влияние процента заполнения материалом детали на предел прочности при изгибе. Были изготовлены образцы 20×25×120 мм для испытания на изгиб. Формировались слои с заполнением материала 20, 40 60, 80 и 100 %. Образцы взвешивались на аналитических весах САРТОГОСМ СЕ224 и испытывались на изгиб на испытательной установке INSTRON 3369 по трехточечной схеме. Сущность метода заключается в том, что образец для испытаний, свободно лежащий на двух опорах, кратковременно нагружают в середине между опорами. Результаты испытания образцов на изгиб приведены на рис. 2.

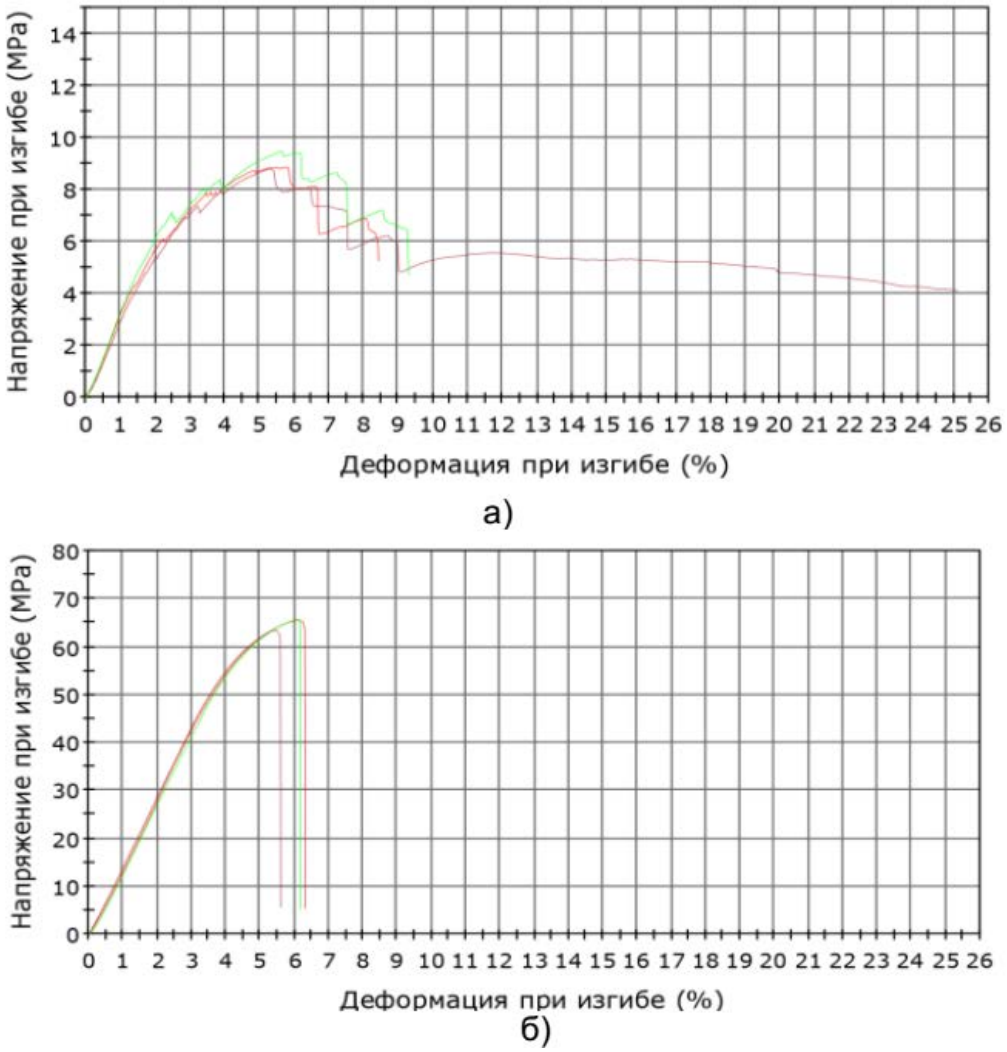


Рис. 2. Результаты испытания типовых образцов: а) – заполнение 20 %; б) – заполнение – 100 %

Результаты обработки экспериментальных данных выявили, что частичное заполнение материалом детали фактически не влияет на предел прочности при изгибе. Предел прочности при изгибе находится в пределах от 9,05 МПа до 12,61 МПа (рис. 3).

Полное заполнение материалом детали позволяет повысить прочность на изгиб в 6 раз, однако при этом масса изделия возрастает 2,5 раза по сравнения с заполнением в 20 %.

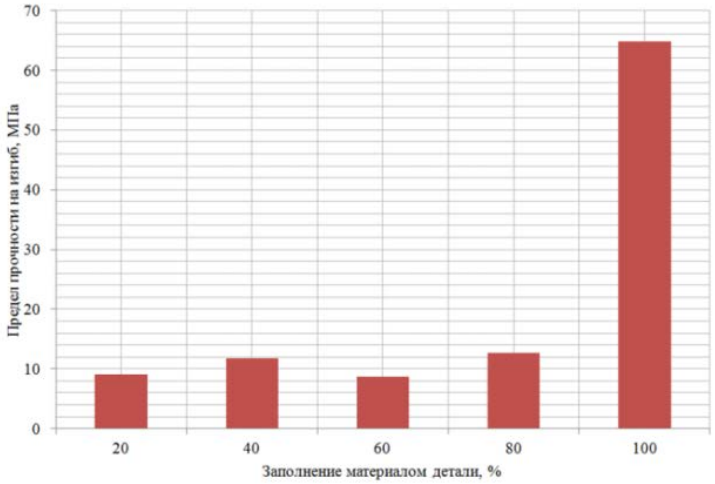


Рис. 3. Диаграмма зависимости предела прочности при изгибе от заполнения материалом детали

Вопросы исследования структуры и свойств изделий, полученных 3D-печатью рассмотрены в работе [3]. Экспериментальные исследования реализовывались на образцах из ABS пластика, полученных по FDM-технологиям по ГОСТ 4648-73. Экспериментальные образцы сформированы внутренним заполнением материала 20, 40, 60, 80 и 100%; структура слоев – четырехгранник и шестигранник. Размеры образцов: 20×25×120 мм. Целью экспериментальных исследований являлось получение зависимости предела прочности при растяжении образца от структуры поверхностного слоя изделия из ABS пластика.

Результаты исследования предела прочности на растяжение (на экспериментальных образцах были сформированы поверхностные слои, состоящие из оболочек с 4, 6, 8 и 10 нитями с заполнением 100%) показаны на рис. 4

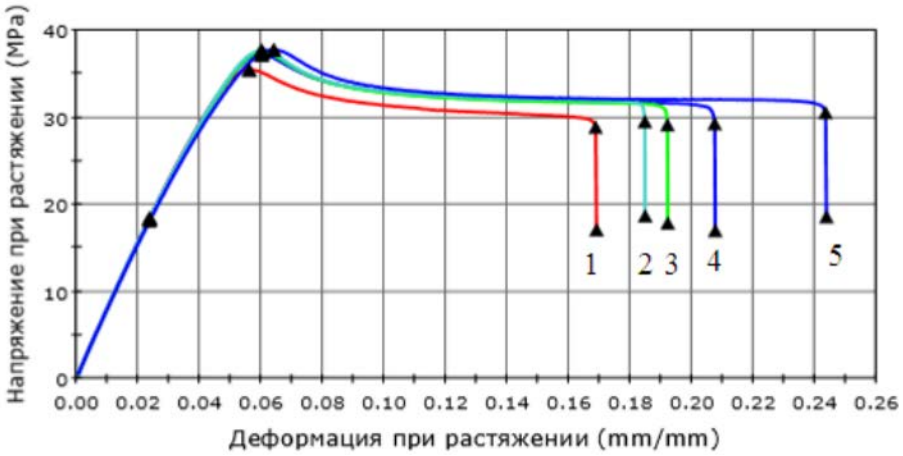


Рис. 4. Результаты испытания экспериментальных образцов: 1 – две нити; 2 – четыре нити; 3 – шесть нитей; 4 – восемь нитей; 5 – десять нитей

Результаты обработки экспериментальных данных предела прочности на изгиб представлены в виде зависимостей на рис. 5. Экспериментальные образцы сформированы внутренним заполнением материала 20, 40, 60, 80 и 100%; структура слоев – четырехгранник и шестигранник. Размеры образцов: 20×25×120 мм.

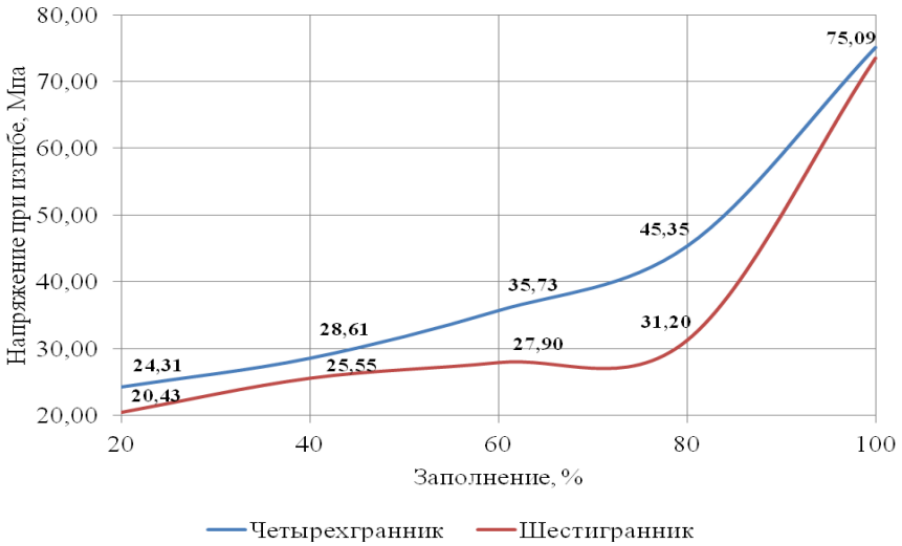


Рис. 5. Зависимость предела прочности при изгибе от заполнения материалом детали

При определении предела прочности на сжатие экспериментальные образцы были сформированы с внутренним заполнением материала 20, 40, 60 и 80%. Размеры образцов: 50×50×50 мм.

Результатом обработки экспериментальных данных является зависимость влияния заполнения материалом экспериментального образца, на предел прочности при сжатии (рис. 6).

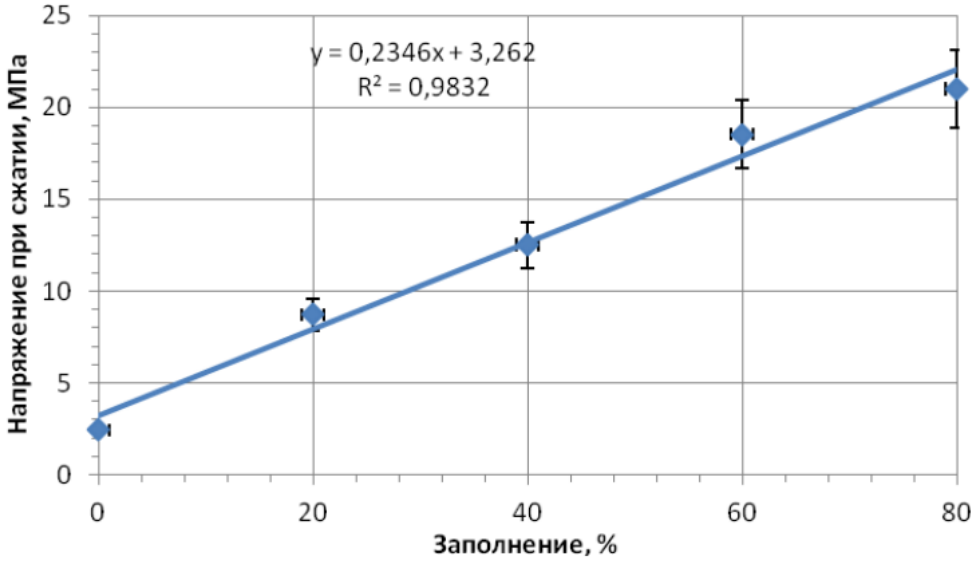


Рис. 6. Зависимость максимального напряжения при сжатии при относительной деформации 10 % от заполнения материалом детали

В работе [4] приведены экспериментальные данные зависимости механических характеристик объектов, созданных по FDM -технологии из модифицированного поликарбоната, Hy1on-618 и ABS-пластика, от температуры переработки материалов, в данном случае - от температуры печати (рис.7). Образцы, полученные из полиамида Hy1on-618 при различных температурах, имеют наибольшую усадку из исследованных материалов и плохо сохраняют заданную геометрическую форму.

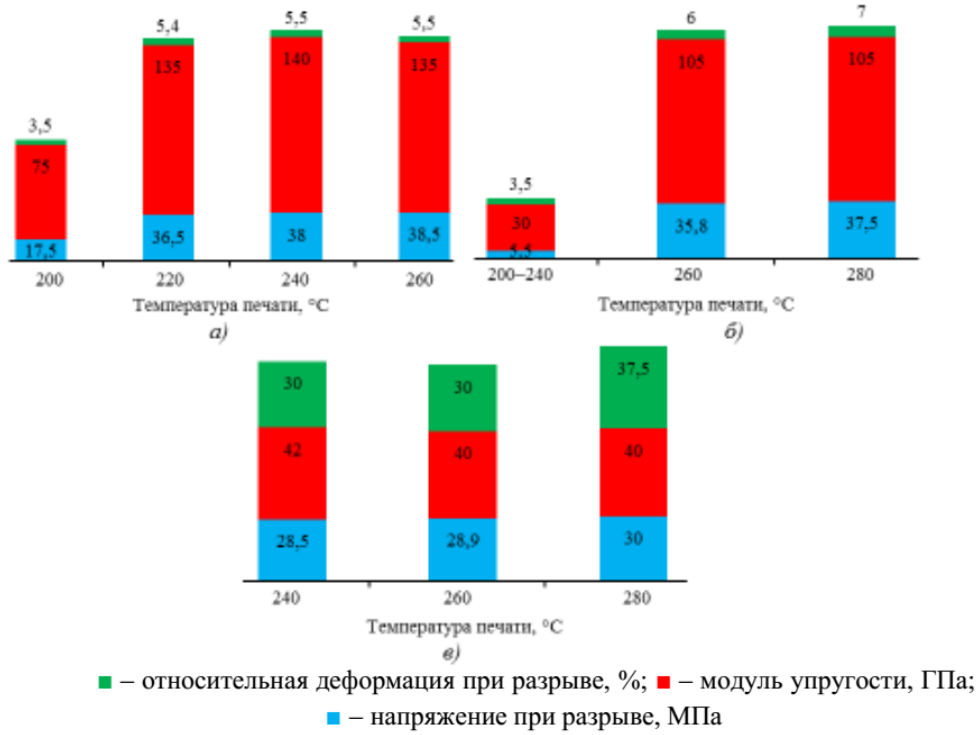


Рис. 7. Влияние температуры печати ABS-пластика *(а)*, модифицированного поликарбоната и полиамида Nylon-618 *(в)* на механические свойства

Выводы: Работы по исследованию механических свойств деталей полученных с использованием FDM -технологии являются актуальными. Механические свойства зависят от скорости формирования изделия, температуры печати, плотности структуры и свойств исходного материала.

Список литературы: 1. В. А. Витренко, Г. В. Сыровой, А. А. Афошин. Влияние скорости в 3-d печати на прочностные характеристики цилиндрических образцов по FDMтехнологии / В. А. Витренко, Г. В. Сыровой, А. А. Афошин / Прогрессивные технологии и системы машиностроения. – 2020. - № 1(68). - С. 25-29. **2.** А.В. Балашов, А.О. Черданцев, Е.А. Новиковский, С.В. Ананьин, С.В. Белоплотов. Исследование прочности изделий, полученных методом 3D-печати /А.В. Балашов, А.О. Черданцев, Е.А. Новиковский, С.В. Ананьин, С.В. Белоплотов / Ползуновский вестник – 2016. - № 2. - С. 61-64. **3.** А. В. Балашов, М. И. Маркова Исследование структуры и свойств изделий, полученных 3D-печатью /А. В. Балашов, М. И. Маркова / Инженерный вестник Дона - 2019 г. - №1 - ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2019/5618. **4.** Г.Н. Петрова, С.А. Ларионов, Ю.А. Сапего, М.М. Платонов. Реологические свойства термопластичной композиции на основе поликарбоната: зависимость от температуры переработки; влияние на механические характеристики и размерную стабильность объектов, созданных по FDM-технологии. / Г.Н. Петрова, С.А. Ларионов, Ю.А. Сапего, М.М. Платонов / Труды ВИАМ - 2017. -№4(52) - С. 81-88.

СОВРЕМЕННЫЕ ВЫЗОВЫ И ОСОБЕННОСТИИ ПОДГОТОВКИ КВАЛИФИЦИРОВАННЫХ ИНЖЕНЕРНЫХ КАДРОВ

Горобец И.А., Лапаева И.В., Голубов Н.В.
(ГОУВПО ДОННТУ, г. Донецк)
E-mail: iren.vit77@gmail.com

Abstract:*The article considers the main tasks of universities in the preparation of engineering personnel. An analysis of the results of distance learning is given. The problems encountered when studying courses in remote mode are indicated. The article contains recommendations on building a learning process for the purpose of training qualified engineers*
Key words: *education, problems, methods, analysis, skills, competence.*

Основной задачей выпускающих кафедр ВУЗов является подготовка и выпуск квалифицированных специалистов. Вместе с тем, важным является не только обучение будущего специалиста, путем передачи ему необходимого уровня знаний, но и формирование у него соответствующих компетенций [1]. Последние реализуются в способностях обучаемого правильно оценить поставленную задачу, отыскать в установленные сроки и с минимальными затратами пути решения, выполнить анализ и осуществить обоснованный выбор наилучшего решения с публичной его защитой. Креативность личности, согласно теории Гилфорда [2], предопределяется определенным набором знаний и умений:

- оригинальность, необычность высказываемых идей, ярко выраженное стремление к интеллектуальной новизне;
- семантическая гибкость, как способность видеть объект под новым углом зрения, обнаруживать его новое использование, расширять функциональное применение на практике;
- образная адаптивная гибкость, т.е. способность изменить восприятие объекта таким образом, чтобы видеть его новые, скрытые от наблюдения стороны;
- способность продуцировать разнообразные идеи в неопределенной ситуации, в частности, в такой, которая не содержит ориентиров для этих идей.

Однако, согласно нашим исследованиям за прошедший с 2007 года интервал времени, в современных условиях образования наблюдается тенденция развивающегося диссонанса соответствия уровня подготовки абитуриентов к требованиям высших учебных заведений и современного технократического общества с периодически встречающимися потрясениями экономического, политического и социального характера.

Среди причин такого явления можно выделить:

- недостаточный уровень подготовки абитуриентов по фундаментальным и общеобразовательным дисциплинам (математика, физика, химия, иностранный язык);
- невысокий уровень логики обучающихся, способности обоснованного выбора вариантов решений;
- неумение последовательно и технически грамотно изложить своё мнение в устной и письменной форме;
- неумение и боязнь публичного выступления, проблемы риторики и логического мышления при построении высказываний;
- недостаточный уровень подготовки к самостоятельной работе с большими объемами научной и учебной информации;
- слабая мотивация и недостаточное желание работать самостоятельно с большими объемами информации;

- заниженная мотивация обучения;
- иждивенческие принципы поведения (желания получать регулярные подсказки, завышенные оценки, лояльность преподавателей);
- слабые знания истории, отсутствие анализа её ключевых моментов, что зачастую приводит (по высказыванию В.С. Ключевского) к тому, что «История ничему не учит, а только наказывает за незнание уроков» [3]. Обращение к истории позволяет глубже взглянуть на нынешнюю ситуацию, увидеть тенденции ее развития;
- недостаточный уровень общей грамотности и культуры поведения в обществе.

Такое положение дел в образовательной сфере усугублялось введением и дальнейшей культивацией с середины 90-х годов в ВУЗах либерального отношения к студенчеству (подражая западной манере обучения). Либерализм отношений к студенчеству приводил к нивелированию авторитета преподавателя (учителя), что влекло за собой неизбежное снижение уважения к профессорско-преподавательскому коллективу, нигилизму и потере мотиваций к дальнейшему обучению.

К еще большему потрясению сознания обучаемых привело введение противоэпидемических мер от действия коронавирусной инфекции COVID-19, в результате которых процесс обучения перешел в дистанционный режим. Обучение в таком режиме и для студентов, и для преподавателей явилось неожиданностью. Защитная реакция человечества против эпидемии подтолкнула к более интенсивному внедрению информационных технологий в учебных заведениях, введение электронного архива, документооборота и коммуникаций вспомогательного характера (оповещения участников образовательного процесса, родителей школьников и пр.).

Современные Internet-средства коммуникаций позволили участникам процесса обучения освоить и использовать в работе современные инструменты удаленной связи, коммуникации и доступа (Zoom, Google Meet, Google Class, Skype, Viber, TeamViewer, LanScope, AmmyyAdmin,Supremo, RoyalTS, LogMeIn и др.). Такие подходы к решению поставленных задач обучения, с одной стороны, привлекли интерес обучающихся к процессу обучения, повысили их мотивацию к обучению и уровень квалификации пользователя современных систем информационных технологий, но с дугой стороны - выявили недостаточную оснащенность некоторых участников процесса (и преподавателей, и обучающихся) современными средствами коммуникации.

Текущая ситуация потребовала не только освоения участниками новых Internet инструментов для проведения обучения, но и дала толчок для применения инструментов упорядоченного хранения учебных, научных, информационных материалов, их пополнения, администрирования, разграничения прав доступа к информации, мониторинга результатов работы. Для этих целей авторами апробированы PDM– системы (Product Data Management — система управления данными об изделии), показавшими удовлетворительный результат.

Важной составляющей переживаемого участниками дистанционного обучения, на наш взгляд, являются изменения эмоционального состояния. К таким изменениям восприятия реальности можно отнести появление некоторых эмоций, среди которых:

- каждый участник чувствует себя персонажем виртуальной компьютерной игры;

- преподаватель в какой-то момент проведения занятия чувствует себя блогером, ведущим стрим для небольшой аудитории студентов, осознавая, что материалы видеоконференции навсегда «осядут» на серверах компаний-разработчиков средств Internet коммуникаций, со всеми вытекающими из этого последствиями;

- невозможность привычной студенческой поддержки окружающих для отвечающих на вопросы преподавателя (уже нет возможности подсказать или

услышать подсказку коллег), отсутствие чувства коллектива и коллективной поддержки;

- еще большая скованность, неумение и боязнь публичного выступления, проблемы риторики и логического мышления при построении высказываний;

- противоречия между нормами Минздрава о времени нахождения обучаемых перед экраном компьютера и других гаджетов при online-обучении и необходимым временем на ежедневное обучение по каждой из дисциплин.

Такие результаты online-обучения при длительном использовании могут привести к нежелательным явлениям, среди которых: развивающийся «цифровой аутизм» [4], приводящий к проявлениям асоциальности индивида, правового нигилизма, неуважения к обществу, эгоизм, клиповому мышлению, проблемам воспитания и отсутствию успешности работы в коллективе.

Следовательно, в связи с современными вызовами обществу, к задачам современной университетской подготовки квалифицированных специалистов следует отнести:

1. Увеличение доли аудиторных (семинарских, лабораторных и практических) работ в учебном плане, предполагающих коммуникативную деятельность студентов и развивающих их уровень риторики по специальности (т.е. реализацию практических навыков студентов и умений использования теоретических знаний, путем публичного обсуждения, дискуссий, выступлений с короткими докладами, использование публичной защиты лабораторных работ и рефератов, курсовых работ и проектов, и обязательным анализом ошибок таких выступлений). Для этого необходимо учесть в учебных планах подготовки бакалавров и магистров дополнительное временя на такие виды работы, а также изменения структуры проводимых аудиторных занятий. Пояснения обучаемым соотношения и степени влияния вербальных, невербальных, паралингвистических особенностей публичного выступления. Получение навыков публичного доклада, умений аргументированно защищать принятые технические решения перед оппонентами.
2. Формирование креативного мышления и смелости выбора нестандартных решений будущего специалиста, развитие способностей системного анализа и логического мышления, умения кратко резюмировать результаты выполненной работы.
3. Организация участия в учебных и научно-исследовательских проектах в небольших студенческих группах для получения навыков планирования, управления и мониторинга работ, публичной защиты результатов проектов [1]. Участие студентов в студенческих конструкторских бюро с обязательной мотивирующей оплатой по результатам выполненных научных и хоздоговорных работ.
4. Обязательное использование при проведении аудиторных занятий элементов воспитания и повышения общего уровня культуры, понимания и уважения местных традиций и истории. Использование и укрепление авторитета преподавателя.
5. Отказ от жесткой корреляции планов набора студентов и выпуска специалистов, приводящих к иждивенческому поведению студентов и снижению уровня мотивации студентов к учебе и результатов их обучения.

Решению этих задач могут поспособствовать:

- современные методы подготовки образовательного процесса, в которых гаджеты и программное обеспечение носят только вспомогательный характер (например, для визуализации объектов обучения, наглядности, быстрого понимания сути, ведения документации в электронном виде, сохранности, администрирования и быстрого нахождения учебных материалов и документов),
- возможность самостоятельного изучения специально подготовленного материала (электронные конспекты лекций, методические указания, лабораторные

практикумы, задачники, вопросники, электронные издания литературы, тестовые системы, электронное расписание и пр.), выложенного на сервере учебного заведения (либо открытых порталах Web-пространства) с использованием средств Internet.

- дальнейшая цифровизация вспомогательных процессов образования и подготовки учебных занятий.

Общение преподавателя и обучающихся должно оставаться живым, и не превращаться в общение электронных образов.

Выводы. Для построения конкурентоспособного общества в условиях динамично изменяющихся современных вызовов, стоящих перед человеческим сообществом, необходим рынок креативных высокоинтеллектуальных инженерных кадров, подготовка которых является компетенцией образовательной системы государства. Комплексное решение задачи перезагрузки образовательной системы по подготовке креативного инженера лежит в дальнейшем реформировании пространственно-временной логической пирамиды: дошкольные учреждения – школа - техническое училище - университет. Решению этой задачи способствуют: исключительно живое ведение аудиторных занятий с использованием современных средств ИТ и методик их использования; увеличение доли семинарских занятий и практикумов с обязательными публичными выступлениями для развития креативных способностей обучаемых; активное использование метода проектов в аудиторных и самостоятельных видах работ; отказ от связи планов набора и выпуска ВУЗов; повышение мотивации преподавателей и обучающейся молодёжи; достойная оплата труда преподавателей и учителей.

Список литературы: **1**. Горобец, И.А. Использование метода проектов и CALS – технологий для повышения эффективности обучения студентов инженерных специальностей / И.А.Горобец, И.В.Лапаева, Н.В.Голубов // Машиностроение и техносфера XXI века: Сб. трудов XX межд. науч.-тех. конф. в г. Севастополе 16 – 21 сентября 2013 г. В 3-х т. – Донецк: ДонНТУ, 2013. Т.1. – с. 162-164. **2.** Немов, Р.С. Психология: Учеб. для студентов высш. пед. учеб. заведений: В 3 кн. Кн. 1. Общие основы психологии. – 3-е изд. – М.: Гуманит. изд. Центр ВЛАДОС, 1997. – 688 с. **3.** Дружилов, С.А. Социально-психологические проблемы университетской интеллигенции во времена реформ: взгляд преподавателя. (Преподаватель вуза: «Дореформировались, и вот я безработный…») [Электронное издание]. – Montreal: Издат-во AccentGraphicsCommunications; Т/О “Neformat”, 2015. — 241 с., ISBN 978-151-3018-70-6 **4**. Газзаева, Л. «Это эпидемия цифрового аутизма»: о чем доктор Курпатов и йог Садхгуру рассказали на завтраке Сбербанка в Давосе 23.01.2020г. [Электронное издание]. – Режим доступа: https://https://www.forbes.ru/finansy-i-investicii/391757-eto-epidemiya-cifrovogo-autizma-o-chem-doktor-kurpatov-i-yog-sadhguru, - АО "АС РУС МЕДИА", 2020.

ПОЛИМЕРСОДЕРЖАЩИЕ НАНОКОМПОЗИТНЫЕ ПОКРЫТИЯ ДЛЯ ИЗДЕЛИЙ МАШИНОСТРОЕНИЯ

Горох Г.Г.[1], Шилько С.В.[2], Лозовенко А.А.[1], Иджи М.М.[1], Рябченко Т.В.[2], Захлебаева А.И.[1] *(БГУИР[1], ГНУ ИММС НАН Беларуси[2], г. Минск, г. Гомель, Беларусь,)*
Тел.: +375 (17) 2938047; E-mail: gorokh@bsuir.by

Abstract: *Anodic alumina matrices filled with polyvinylidene fluoride by plasma-chemical deposition were investigated using a scanning electron microscope and a tribological research unit. It was shown that the degree of filling of the pores with the polymer is proportional to the deposition time, and the friction coefficient decreases with increasing thickness of the film on the oxide surface. The polymer-containing composite films have high tribological and mechanical characteristics that can be used as modifying coatings of products subject to corrosion and accelerated wear.*

Key words: *Nanoporous anodic alumina, Polymer-containing composite, Polyvinylidene fluoride, Friction coefficient.*

Наноструктурированные пленки и покрытия, обладающие низкоразмерными структурными элементами, характеризуются сверхвысокой прочностью, повышенной износостойкостью, упругостью и пластичностью [1]. Один из основных механизмов упрочнения при уменьшении размеров зерен обусловлен эффектом скопления дислокаций вблизи их границ. Важным преимуществом покрытий с наноразмерной структурой является обусловленная повышенной пластичностью возможность снижения в них остаточных напряжений путем создания пленок микронной и субмикронной толщины [2]. Более глубокое изучение физики упругой деформации наноструктрированых пленок открывает широкие перспективы получения матричных покрытий на изделиях сложной формы. Среди них особое внимание уделяется методам на основе нанопористых слоев анодного оксида алюминия (АОА) [3] с наполнителями из металлоксидных [4], углеродных и фуллереноподобных наноструктур [5]. Ранее проведенные исследования [6] показали зависимость модуля Юнга, коэффициента теплопроводности и других физико-механических характеристик нанопористого АОА от микрогеометрии его ячеисто-пористой структуры, в том числе, от его объемной пористости. Использование наноструктурированного материала в качестве связующего звена между монолитной основой и осаждаемым на ней функциональным материалом обеспечивает решение многих проблем. За счет уменьшения градиента коэффициентов термического расширения подложки и функционального слоя снижается концентрация межфазных термомеханических напряжений и вероятность адгезионного разрушения. На основе анализа самоорганизации композиционного материала в трибосистемах, подверженных износу при трении металлов и полимеров [7], а также термодинамики процессов трения и изнашивания, были исследованы методики импрегнирования нанопористого АОА антифрикционными фторполимерами [8] и разработана методика прогнозирования деформационно-прочностных и триботехнических параметров полимерсодержащего покрытия как транверсально-изотропного композита [9].

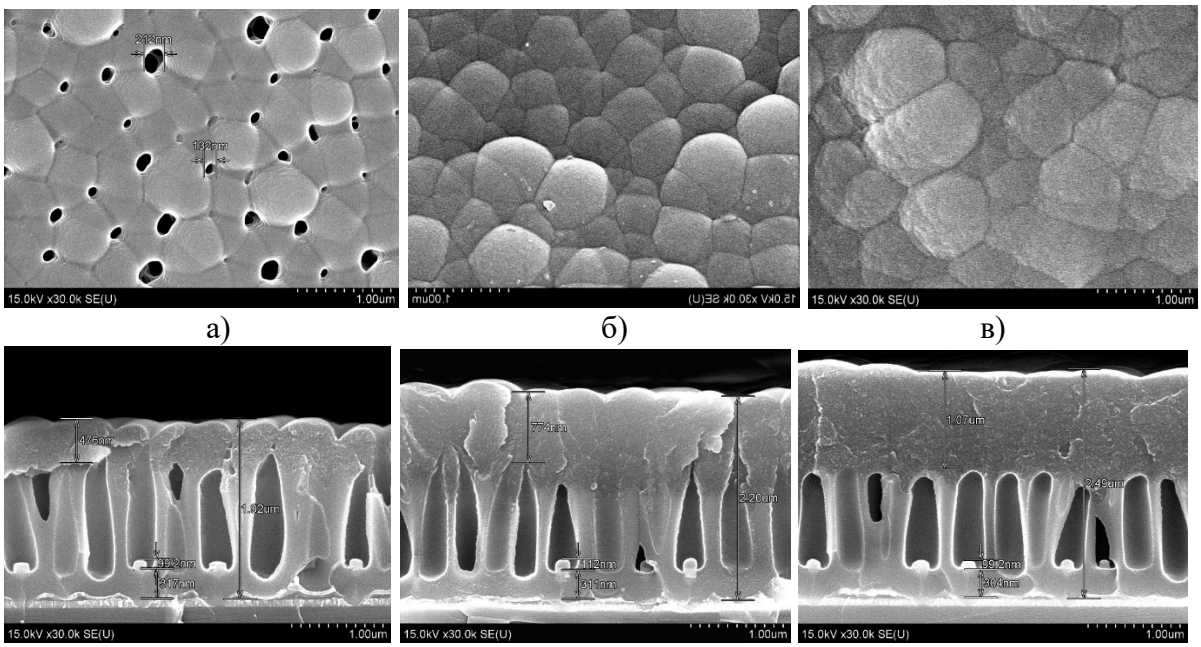
В настоящей работе представлены результаты формирования композитных полимерсодержащих покрытий, представляющих собой тонкие матрицы анодного оксида алюминия, пористый каркас которых заполнен полимером, а также исследований их структурных, механических и трибологических характеристик.

Формирование пористых матриц АОА осуществляли методом двухстадийного электрохимического анодирования [10] при условиях, которые могли бы обеспечить наиболее предпочтительный размер пор и микрогеометрию

матриц. Первоначальное анодирование слоя Al (1.7 мкм), нанесенного методом магнетронного распыления на n-кремниевые подложки (100 мм, 4.5 Ом см), осуществлялось в 0.4 М водном растворе винной кислоты при плотности анодного тока 6 мА/см2 (200 В) в течение 5 минут. Регистрацию и мониторинг электрических параметров электрохимического процесса, задаваемых источником тока Keysight N5752A, регистрацию и мониторинг параметров процесса проводили с помощью цифрового мультиметра Keysight 34470A, соединенного посредством USB интерфейса с персональным компьютером с установленным программным обеспечением Bench Vue. Слой пористого оксида, сформированный в результате первого анодирования, селективно удаляли в нагретой до T=340°K смеси хромовой и фосфорной кислот. На структурированной отпечатками оксидных ячеек поверхности оставшегося алюминия толщиной 1.1 мкм формировали новый упорядоченный слой АОА в тех же электрохимических условиях. Для утонения стенок ячеек полученные матрицы АОА подвергали операции порорасширения в селективном растворе при температуре 330°K в течение 10 минут. В результате на поверхности подложки были получены матрицы АОА толщиной 1,450 мкм с периодом оксидных ячеек 450 нм и диаметрами пор от 220 до 250 нм.

На поверхность подготовленных матриц АОА были нанесены пленки поливинилиденфторида (ПВДФ) на опытно-промышленной установке плазмохимической обработки (ПХО) по специально разработанной технологии [11]. В процессе ПХО расстояние между электродами и образцом составляло 4,2 см. Процесс формирования полимерного покрытия проводили при давлении остаточного газа в камере 8 Па; напуск газовой смеси (мономера) производился при давлении 90 Па; для создания плазмы реализован СВЧ-разряд 5,47 МГц. В соответствии с методикой нанесения [11] толщина формируемого покрытия полимера определялась временем осаждения, которое составляло: $t_{обр}$ 10, 20, 30 и 60 мин. Морфологию поверхности и поперечные сколы полученных структур изучали методом сканирующей электронной микроскопии (СЭМ) в сканирующих электронных микроскопах Hitachi S-806 при ускоряющем напряжении 20 кВ и Hitachi S4-800 при ускоряющем напряжении 15 кВ.

На рисунке 1 представлены электронно-микроскопические изображения поверхности и поперечных сечений матриц АОА с нанесенными на них слоями ПВДФ с течение 10, 20 и 30 мин. Детальный анализ распределения полимера в процессе осаждения на поверхности матриц показал, что в результате 10 минутного синтеза молекулы ПВДФ осаждались в основном на поверхности стенок пор матриц. Проникновение молекул в глубь пор при указных выше режимах было затруднено. На поверхности матриц было сформировано покрытие толщиной около 450 нм. При этом входы в поры были частично запылены, но оставались открытыми (рис. 1, а и г). После 20 минутного процесса ПХО на поверхности матриц сформировалась пленка толщиной около750 нм. При этом на поверхности входы пор уже были запылены, но четко была видна морфология исходной матрицы АОА с равномерно распределенными зернами вдоль выходящих на поверхность матриц стенок оксидных ячеек (рис.1, б и д). После 30 минутного синтеза профилированная поверхность матриц АОА стала практически гладкой, хотя исходная морфология еще осталась видна (рис. 1, в и е). Толщина полимерного слоя составила около 1 мкм при общей толщине композитного покрытия около 2,5 мкм.



а) б) в)

г) д) е)

Рис. 1. Электронно-микроскопические изображения поверхности (а,б,в) и поперечных сечений (г,д,е) матриц АОА с нанесенными на них слоями ПВДФ с течение 10 (а,г), 20 (б,д) и 30 (в,е) мин

При использовании подавляющего большинства полимерных покрытий в реальных технологических процессах стопроцентное заполнение пор не достигается. Помимо изменения площади поперечного сечения «ворса» АОА по глубине, неравномерность заполнения является дополнительным фактором градиентности свойств рассматриваемого композита. Экспериментально установлено, что степень заполнения и толщина «внешнего» полимерного слоя увеличиваются пропорционально длительности обработки образца $t_{об}$. На полученных образцах было проведено экспериментальное исследование коэффициента трения f_k нанопористого АОА от степени импрегнирования полимером и теоретическая интерпретация этой зависимости. Определение коэффициента трения образцов с композитным покрытием на стали проводились на универсальном микротрибометре MTU-2K7. Прибор позволяет измерять коэффициент трения тонких (от 2 нм) пленок при малых нагрузках (от 10 мН до 1 Н) в диапазоне скоростей скольжения 0,1 – 10 мм/с. Исследования проводили при нормальной нагрузка на индентор – 0,1 Н; скорости скольжения – 0,5 мм/с, при этом была обеспечена возможность регистрации момента частичного разрушения внешнего полимерного слоя и величины коэффициента трения композитного покрытия.

На рисунке 2 представлены экспериментальные зависимости коэффициента трения от числа циклов испытания для матриц АОА с нанесенными на них слоями ПВДФ в течение 10, 20 и 30 мин. На данных диаграммах можно отметить начальный участок, характеризующийся малым значением f. Для импрегнированных образцов этот участок характеризует трение внешнего полимерного слоя. С увеличением времени обработки протяженность данного участка возрастает. После частичного разрушения полимерного слоя регистрируемое значение коэффициента трения скачкообразно возрастает. Установившееся значение коэффициента трения f_k характеризует свойства металлполимерного композитного покрытия.

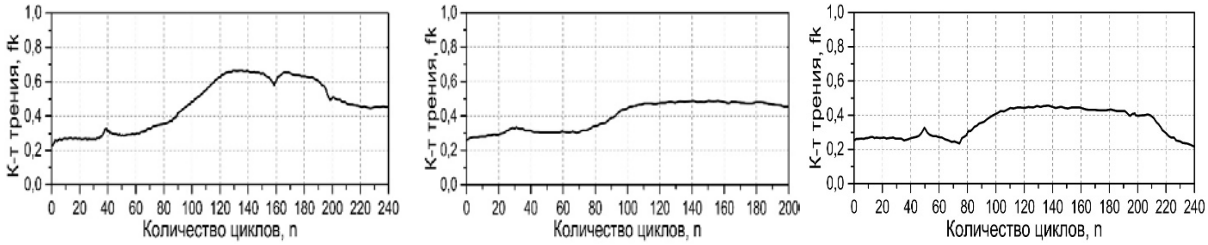


Рис. 2. Зависимости коэффициента трения от числа циклов испытания для матриц АОА с нанесенными на них слоями ПВДФ в течение 10 (а), 20 (б), и 30 (в) мин

Повторное падение значения коэффициента трения при $n > 200$ связано с частичным разрушением самого полимер-керамического покрытия. Величина f_k с увеличением длительности обработки $t_{об}$ снижается. Экспериментальная зависимость коэффициента трения от времени обработки представлена на рисунке 3а. Можно отметить, что с определенного момента времени ($t_{об} \geq 40$ мин) значение f_k стабилизируется. Зависимость коэффициента f_k от времени обработки обусловлена влиянием степени заполнения пор полимером, возрастающей с увеличением $t_{об}$, на эффективный коэффициент трения покрытия. Непосредственное экспериментальное изучение этого влияния требует наблюдения и подробного описания структуры покрытия на наномасштабном уровне. На данном этапе предлагается теоретическая интерпретация зависимости f_k ($t_{об}$).

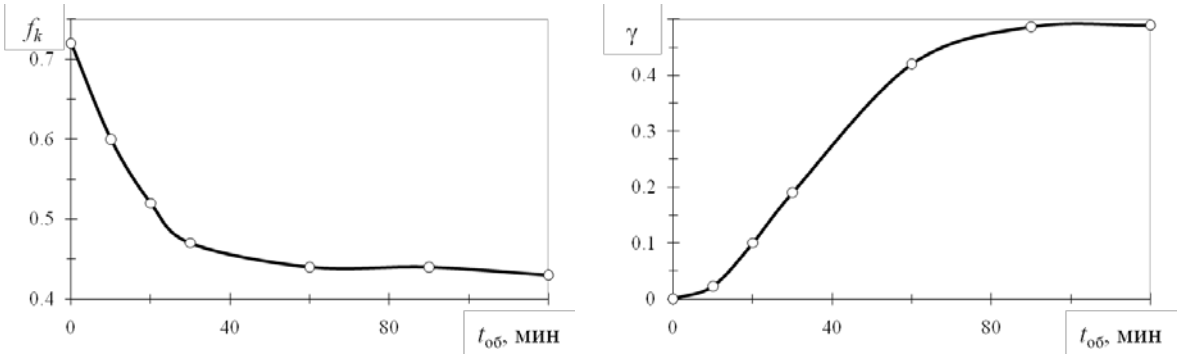


Рис. 3. Зависимости установившегося значения коэффициента трения композитного покрытия от длительности плазмохимической обработки (а) и степени ингибирования γ от времени обработки (б)

Материал исследуемого покрытия можно рассматривать, как волоконно-армированный композит, в котором сплошные волокна ориентированы нормально к поверхности покрытия. Для прогнозирования эффективного коэффициента трения такого композита можно использовать упрощенный подход, изложенный, в частности, в работе [8]. Используя изложенную методику и зависимость степени ингибирования γ от времени обработки, представленную на рис.3б, была установлена расчетная зависимость эффективного коэффициента трения покрытия от степени ингибирования γ. Следует отметить, что зависимость $\gamma(t_{об})$ имеет *S*-образный характер. Как отмечено выше, при малых $t_{об}$ проникновение полимера в поры практически пропорционально времени обработки. При $t_{об} > 20$ мин скорость увеличения параметра γ существенно возрастает, а при $t_{об} > 60$ мин величина γ стабилизируется и принимает максимально

возможное значение. В рассматриваемом случае $\gamma_{max} = 0{,}49$. Таким образом, разработанная расчетно-экспериментальная методика позволяет определить степень импрегнирования нонопористого АОА в условиях плазмохимической обработки и формированием в порах и на его поверхности покрытия, содержащего ПВДФ. Установлены зависимости степени ингибирования и коэффициента трения композитного покрытия АОА/ПВДФ от длительности обработки.

Таким образом, матричные полимерсодержащие покрытия на основе регулярных нанопористых пленок АОА, поры которых частично заполнены полимером, в частности, поливинилиденфторидом, представляют собой однородные по составу и микроструктуре композитные пленки с высокими трибологическими и механическими характеристиками, и могут быть использованы в качестве модифицирующих покрытий изделий машиностроения, подверженных коррозии и ускоренному износу.

Список литературы: 1. Юров В.М., и др. Некоторые вопросы механических свойств наночастиц и наноматериалов // Фундаментальные исследования. – 2016. – № 12-2. – С. 349-353. **2.** D. G. Morris. Mechanical Behaviour of Nanostructured Materials/ Trans. Tech. Publ., Ueticon-Zurich, Jan 1, 1998, 86 p. **3.** Nanoporous Alumina: Fabrication, Structure, Properties and Applications / Eds.: Losic D., Santos A. Springer, 2015. – XIV. – 362 p. **4.** Пligовка А.Н., Горох Г.Г., Лозовенко А.А., Шпилевский Э.М. / Столбиково-матричные наноструктуры из анодных оксидов тантала и алюминия: получение и свойства // Наноструктуры в конденсированных средах : сб. науч. ст. / Ин-т тепло- и массообмена им. А.В. Лыкова НАН Беларуси ; редкол. : редкол. : О.Г. Пенязьков, Э.А. Шпилевский. – Минск, 2015. – С. 120–140. **5.** Gorokh G.G., Pashechko M.I., Borc J.T., Lozovenko A.A., Kashko I.A., Latos A.I. / Matrix coatings based on anodic alumina with carbon nanostructures in the pores // Applied surface science. – 2018. – Vol. 43. – P. 829–835. (doi.org/10.1016/j.apsusc.2017.10.117). **6.** Плескачевский Ю.М., Хатько В.В., Горох Г.Г., Таратын И.А. Элементы сенсорных микросистем на основе наноструктурированных материалов // Сб. научн. статей “Наноструктуры в конденсированных средах”/ Под ред. П.А. Витязя. – Минск: Изд. Центр БГУ, 2011. – С. 18–24. **7.** Ю. К. Машков, О. В. Кропотин, С. В. Шилько, Ю. М. Плескачевский, Самоорганизация и структурное модифицирование в металлополимерных трибосистемах : монография / [– Омск: Изд-во ОмГТУ, 2013 г. – 222 с. **8.** Shil’ko, S.V. Estimation of the friction coefficient of a nanostructured composite coating / S.V. Shil’ko, D. Chernous, T.V. Ryabchenko, V.V. Hat’ko // Mechanics of Composite Materials. – 2017. – Vol. 53, No. 5. – P. 579–588. **9.** Шилько, С.В. Определение параметров деформирования и трения градиентных композитных покрытий, образованных частичным заполнением нанопор анодного оксида алюминия полимером / С.В. Шилько, Д.А. Черноус, Т.В. Рябченко // Актуальные вопросы машиноведения: Сб. научн. тр. ОИМ. – Минск, 2017. – Вып. 6. – С. 141–144. **10.** G. Gorokh, A. Mozalev, D. Solovei, V. Khatko, E. Llobet, X. Correig, Anodic Formation of Low-Aspect-Ratio Porous Alumina Films for Metal-Oxide Sensor Application, Electrochim. Acta 52 (2006) pp. 1771-1780. **11.** Патент РБ № 6214, МПК С 08J. Способ модифицирования углеродных наполнителей для политетрафторэтилена / Шелестова В.А., Гракович П.Н. - № 19990866, Заявл. 06.09.1999; Опубл. 30.03.2001 // Официальный бюллетень. – 2001. – №1. – С. 33.

МЕТОДЫ КОНТРОЛЯ ОБОГАТИТЕЛЬНОЙ СРЕДЫ

Гречишкина Н.В. (*ГОУ ВПО ЛНР ЛНУ им. В. Даля, г. Луганск, ЛНР*)
Тел. +38(050)1667563; E-mail: natalisha.grech@yandex.ru

Abstract: *Requirements for the quality characteristics of extracted coals have increased. The most effective way to improve the quality of coals is to enrich them in heavy environments. Water suspensions with a density of 1400 to 2000 kg/m^3 are used as the concentrating medium, depending on the content of magnetite in it. During the enrichment process, the density of the working environment changes, and this directly affects the quality of the enrichment process. Therefore, there is a need for continuous monitoring of the working suspension for the content of magnetite concentrate.*
Key words: *Magnetic susceptibility, magnetite, concentration medium, inductance, control method.*

Для определения магнитной восприимчивости магнетитового материала известны следующие методы: индуктивный, индукционный и пондеромоторный. Подробно известные методы и границы их применимости рассмотрены в [1].

Индуктивный метод наиболее распространен. Метод основан на изменении индуктивности L электрической катушки при помещении ферромагнитного материала с некоторой магнитной восприимчивостью χ в переменное магнитное поле, создаваемое данной катушкой:

$$L = f(\chi),$$

или же на изменении взаимоиндуктивности M двух магнитосвязанных катушек, если сердечником является исследуемый ферромагнитный материал:

$$M = f(\chi).$$

Катушку (или пару катушек) можно рассматривать как параметрический (требующий источника питания) индуктивный первичный преобразователь (ИПП), входным сигналом которого является магнитная восприимчивость вещества, выходным – индуктивность (или взаимоиндуктивность).

Индукционный метод определения магнитной восприимчивости сырья основан на явлении электромагнитной индукции. Суть его заключается в следующем. При движении частиц ферромагнитного материала определенной крупности и с определенной скоростью в зазоре постоянного магнита, на который намотана электрическая катушка, за счет изменения длины воздушного зазора изменяется величина напряженности магнитного поля H, что приводит к наведению ЭДС в катушке. Величина ЭДС зависит от магнитной восприимчивости частиц χ, соотношения длины зазора и крупности частиц $d_ч$ и от скорости движения частиц $v_ч$:

$$e = f(\chi, d_ч, v_ч).$$

Данный метод может быть применен для контроля качества сырья на конвейере при условии устранения влияния крупности частиц и при постоянной скорости, а также для контроля крупности материала или его расхода (например, расхода обогатительной пульпы).

Пондеромоторный метод определения магнитной восприимчивости проб магнетитового порошка (метод Фарадея) основан на измерении силы притяжения, действующей на пробу, помещенную в постоянное магнитное поле. При этом величина силы пропорциональна величине магнитной восприимчивости:

$$F = k\chi.$$

Однако для этого необходимо наличие большой напряженности магнитного поля с малым его градиентом, иначе с изменением χ изменяется картина поля, что приводит

к погрешности. Другим решением является применение формы магнитных полюсов с изодинамическим полем в зазоре магнита.

Метод может быть применен для контроля качества проб обогатительной среды или для контроля качества пульпы в пульпопроводе. Однако следует отметить, что средства контроля имеют повышенное энергопотребление, технически сложны.

В результате анализа известных методов контроля магнитной восприимчивости рудного материала, выбираем индуктивный метод, как наиболее точный, технически простой и перспективный при создании средств непрерывного контроля качества обогатительной среды.

Для определения индуктивности известны следующие методы.

Метод Z-метра [2] позволяет определить модуль полного сопротивления (импеданс) тестируемой катушки (ИПП)

$$z = \sqrt{{X_L}^2 + R^2} ,$$

где $X_L = \omega L$ – реактивное (индуктивное) сопротивление, Ом; ω – угловая частота гармонического напряжения питания, рад/с; R – активное сопротивление, Ом.

Значение z определяется по амплитудным (или действующим) значениям гармонического напряжения, подаваемого на ИПП, и тока, протекающего при этом через него (рис. 1):

$$z = \frac{U}{I} .$$

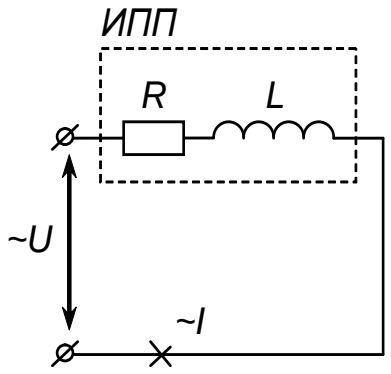


Рис. 1. Схема определения импеданса (метод Z-метра)

Достоинство данного метода – принципиальная простота. Недостатки – необходимость использования двух параметров (U, I), а также невозможность раздельного определения реактивной X_L и активной R составляющих, что предполагает присутствие мешающих факторов, таких как влияние изменения влажности и электропроводности рудного материала и связанное с этим изменение активного сопротивления ИПП.

Метод Q-метра позволяет определить добротность, а также индуктивность катушки.

Добротностью катушки индуктивности на некоторой частоте ω является отношение её реактивного (индуктивного) сопротивления $X_L = \omega L$ к активному R:

$$Q = \frac{X_L}{R} = \frac{\omega L}{R} .$$

Для этого последовательный контур, состоящий из тестируемой катушки L (ИПП) и образцового конденсатора переменной емкости C, подключается к генератору

переменного (гармонического) напряжения и настраивается в резонанс путем изменения ёмкости конденсатора по максимуму амплитуды напряжения в точке соединения индуктивности и ёмкости (рис. 2).

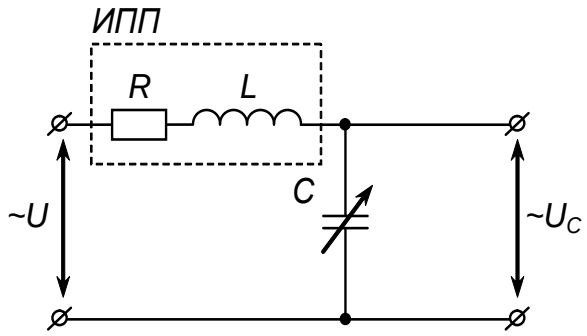


Рис. 2. Схема определения добротности (метод Q-метра)

При настройке контура в резонанс индуктивное сопротивление катушки и емкостное сопротивление конденсатора становятся равными: $X_L = X_C$, а амплитуда напряжения на индуктивности или ёмкости в Q раз больше амплитуды напряжения, подаваемого на контур. Таким образом, можно определить добротность:

$$Q = \frac{U_C}{U} = \frac{X_C}{R} = \frac{X_L}{R} = \frac{1}{\omega CR} = \frac{\omega L}{R}.$$

При этом можно также определить индуктивность ИПП по известной частоте генератора и ёмкости образцового конденсатора:

$$L = \frac{1}{\omega^2} \cdot \frac{1}{C} = \frac{1}{4\pi^2 f^2} \cdot \frac{1}{C},$$

где f, ω – частота (Гц) и угловая частота (рад/с) напряжения питания (const), соответственно, C – ёмкость образцового конденсатора (var), Ф.

Достоинством данного метода является возможность определения индуктивности ИПП независимо от его активного сопротивления. Недостатком – необходимость ручной подстройки ёмкости конденсатора для вхождения контура в резонанс. Это ограничивает применение данного метода для непрерывного контроля.

Метод F-метра (частотный метод) [3] позволяет по частоте колебаний автогенератора определить индуктивность ИПП при его включении в качестве элемента колебательного *LC*-контура (рис. 3).

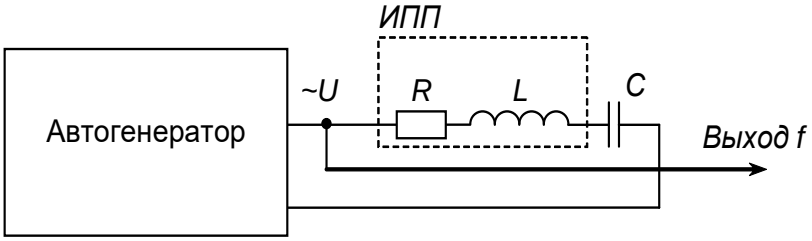


Рис. 3. Схема определения индуктивности (метод F-метра)

При использовании последовательного *RLC*-контура частота колебаний зависит

только от индуктивности L и ёмкости C:

$$f = \frac{1}{T} = \frac{\omega}{2\pi} = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \ (Гц).$$

Достоинствами частотного метода являются возможность определить индуктивность ИПП независимо от его активного сопротивления, простота реализации и более высокая точность по сравнению с другими резонансными методами, поскольку выходной сигнал схемы – частотный. Немаловажно также и то, что индуктивность определяется исходя только из одного информативного параметра – частоты (периода) колебаний, если емкость конденсатора принять постоянной:

$$L = \frac{1}{4\pi^2 C} \cdot \frac{1}{f^2} = \frac{1}{4\pi^2 C} \cdot T^2 \ (Гн).$$

Примерами устройств, построенных на основе F-метра, являются серийный магнитный ферритометр ФМ-2, разработанный НИИАЧермет и устройство для контроля магнитосодержащих порошков ЭМФ-4 [4]. Метод F-метра положен в основу работы устройства определения содержания магнетита, разработанного институтом Уралмеханобр [1].

Мостовой метод позволяет определять реактивные и активные составляющие импеданса катушки [5]. Существует множество серийно выпускаемых измерителей *RLC*, основанных на мостовом методе. Примерами готовых устройств для контроля магнитной восприимчивости на базе мостового метода являются магнитометры УМФ-2 и РМФ-7, обладающих высокой чувствительностью и точностью. Однако общим недостатком мостовых схем является необходимость их ручного уравновешивания [5], что усложняет использование данного метода при автоматическом контроле.

Автогенераторный метод [3], (как и метод Z-метра) основан на определении вносимого в индуктивный ИПП импеданса z. Определение импеданса осуществляется путем определения амплитуды переменного напряжения на выходе автогенератора. На базе данного метода созданы переносные аналоговые и цифровые μ-метры АМ-1 и АМЦ-1 [6], предназначенные для контроля магнетитовых скважин.

Список литературы: 1. Марюта А.Н. Контроль качества железорудного сырья / А.Н. Марюта, И.К. Младецкий, П.А. Новицкий. – Киев: Техніка, 1976. – 221 с. **2.** Афанасьев Ю.В. Магнитометрические преобразователи, приборы, установки / Ю.В. Афанасьев. – Л.: Энергия, 1972. – 272 с. **3.** Арш Э.И. Автогенераторные методы и средства измерений / Э.И. Арш. – М.: Машиностроение, 1979. – 256 с. **4.** Афанасьев Ю.В. Феррозондовые приборы / Ю.В. Афанасьев. – Л.: Энергоатомиздат, 1986. – 185 с. **5.** Гаврилюк М.А. Электронные измерители C, L, R / М.А. Гаврилюк, Е.П. Соголовский. – Львов: Вища школа, 1978. – 134 с. **6.** Индуктивный датчик: а.с. 794567 СССР / Э.И. Арш, Н.И. Твердоступ. – Опубл. 07.01.81, БИ №1.

ОСОБЕННОСТИ РЕОРГАНИЗАЦИИ ПРОИЗВОДСТВА ПРОДУКЦИИ

Григорьева Н.С., Шабайкович В.А.
(Луцкий национальный технический университет, г.Луцк, Украина)
Тел./Факс: +38 (063) 7141115; E-mail: vik_shabajkin@ukr.net

Abstract *The need for reorganization of production is its inconsistency with foreign indicators. The main reason is the human factor, namely, the mediocrity of leadership at all levels. The reorganization is based on the implementation of lean production using the latest achievements of science and technology.*
Key words: *reorganization, production, factors, quality, competitiveness, cost.*

В современных условиях рыночной экономики главными проблемами производства являются качество, конкурентность малозатратной продукции. Это сложная многоплановая проблема, зависящая от многих факторов, определившая по разным мировым рейтингам на последнем месте *Украину* как по качеству, конкурентности, так и большой затратности продукции, а страну, как отсталую и промышленно слаборазвитую. Однако основной причиной этого является человеческий фактор, а именно, не квалифицированность руководства. Повышение эффективности современного производства невозможно без знаний его сущности. Поэтому без их изучения особенностей, меры по улучшению производства и экономики в целом будут напрасными.

Выпуск качественной и конкурентной продукции включает широкий круг проблем от проектирования продукции, выбора необходимых дешевых, но качественных материалов и сырья, необходимой дешевой энергии, их гарантированной поставки, технологии изготовления продукции, до создания нужной материально-технической базы производства, обеспечения минимальных затрат изготовления и достаточной квалификации производственного персонала, организации производственных процессов, поставки и сбыта продукции. К сожалению, за упомянутыми данными Украина заметно отстает от развитых стран мира. За *28 лет независимости* по-настоящему этими вопросами никто не занимался, шла дикая капитализация, «*межпартийная борьба*» за улучшение благосостояния населения страны (скорее личного), и заниматься производством продукции, да и экономикой страны в целом просто не хватало времени, да и некому было этим заниматься.

Объективная необходимость повышения уровня отечественного производства заключается в его удешевлении при обеспечении качества и конкурентности выпускаемой продукции. Эта проблема на производстве решается в тесной взаимосвязи с другими общими функциями предприятия, такими как маркетинг, инженерное сопровождение, квалификация персонала и т.п. Проблема по своей сущности в первую очередь является технически-организационной и финансовой, которая должна решаться инженерными методами. Четко определяется схема рациональных решений проблем основ современного малозатратного производства - применение экономного предпринимательства, эффективного производства при различных условиях выпуска, технологических процессов изготовления, инноваций и инвестиций, экономики, организации, внедрения отечественного опыта предприятий *ВПК,* международного опыта.

При реорганизации производства на первое место должно выдвигаться внедрение бережливого производства (*Lean Production*), которое обеспечивает изготовление качественной и конкурентной продукции при минимальных затратах. Это особенно важно при коронавирусном карантине и после. Сегодня бережливое производство широко применяются на Западе и Востоке, а в *Украине* – используется только отдельными компаниями, что свидетельствует о безразличии к нововведениям или непонимание его сущности, а может и желание быстрого обогащения без особого мудрствования.

При рыночной экономике изготовление продукции выполняется не централизовано, а по заявкам рынка (потребителей), которые предпочитают приобретать качественную продукцию широкой доступности и низким ценам. Основными требованиями, предъявляемыми к производству продукции, является изготовление с учетом требований стандартов или технических условий по технологическим процессам при минимальных затратах. Для производства большое значение имеют отечественные и международные стандарты. При этом важны стандартизация, сертификация и аккредитация, поскольку способствуют изготовлению качественной и конкурентной продукции путем регламентирования их характеристик и показателей. Лучшей формой изготовления качественной и конкурентной продукции является предпринимательство, как особый тип хозяйствования. Система разработки предпринимательства и постановки продукции на производство устанавливает свои этапы и виды выполняемых работ.

Важно правильное управление производством, представляющее реализацию целого набора плановых, учетных и управленческих задач. При этом компьютеризация производства обеспечивает более точное планирование и учет практически всех возникающих задач. Автоматизированные системы управления построены на комплексном использовании технических, математических, информационных и организационных средств управления сложными объектами. Они подразделяются на виды.

Известны новые *CALS-технологии*, которые также недостаточно используются. Это непрерывная информационная поддержка жизненного цикла продукции на всех ее стадиях при использовании единого информационного пространства. К числу основных компонентов *CALS-технологий* относятся системы и средства: *CAD/CAM/CAE-системы*, средства реализации технологии параллельного проектирования в режиме группового использования данных, средства управления проектными и инженерными данными, методики визуализации и разработки документации, средства обмена данными и стандартные интерфейсы для специализированных систем, средства разработки прикладного программного обеспечения, методики анализа процессов предприятия в проектно-технологической, производственной и управленческой сферах.

Должен быть использован неоценимый опыт предприятий ВПК *Украины* по выпуску качественной военной продукции. Еще и сейчас *ВПК* выпускает такую продукцию, благодаря качественным конструкциям изделий, технологиям их изготовления, организации производства и квалифицированному производственному персоналу.

В производстве должна использоваться валидация и верификация, как средства подтверждения выполненных требований. Верификация выполняется методом проверки характеристик продукции с заданными требованиями, результатом чего является вывод о соответствии или несоответствии продукции, лучше *ДСТУ* или техническим условиям. Валидация рассматривается, как подтверждение выполнения требований, проводится при необходимости, выполняется методом анализа заданных условий применения и оценки соответствия характеристик продукции этим требованиям и возможности применения продукции для конкретных условий.

Известный ценный производственный опыт Японии, США, Европы и Азии по обеспечению высокого качества продукции, который может применяться в *Украине*. К сожалению, его применение сейчас незначительное, что объясняется целым рядом причин, главная из которых - непонимание сущности, безразличие и желание мгновенного обогащения любой ценой без любых дополнительных затрат.

Список литературы: 1. Григорьева Н.С., Шабайкович В.А. Малозатратное изготовление конкурентной продукции: Монография. –М.: Из-во: Palmarium academic publishing, 2015. – 440 с.

КЛАССИФИКАЦИЯ ВИДОВ ПРОДОЛЬНОЙ МОДИФИКАЦИИ ЗУБЬЕВ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ КОЛЕС В ЗАВИСИМОСТИ ОТ КОНСТРУКТИВНЫХ ПРИЗНАКОВ

Грубка Р. М., **Михайлов А. Н.**, **Петряева И. А.**, **Вильчик А.Г.** *(ГОУВПО "ДОНЕЦКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ", г. Донецк, ДНР)*
Тел./Факс: +38 (071) 306-08-79; E-mail: *tm@fimm.donntu.org*

Abstract: *The article studies the types of the longitudinal modification teeth of cylindrical wheels depending on the design features, on the basis of which their classification is developed. The classification includes design measures that contribute to reducing the negative impact of manufacturing errors and gear elements assembling, as well as deformations of parts under the load influence on the gears operational characteristics. For each type of longitudinal modification, the technical result achieved as a result of the implementation of constructive measures is indicated.*

Key words: *spur gear, longitudinal modification, classification, constructive signs.*

Погрешности изготовления и сборки элементов зубчатых передач, деформации деталей под действием нагрузки приводят к накапливанию погрешностей [1, 2], которые ухудшают эксплуатационные характеристики зацепления. Для снижения влияния погрешностей и деформаций на эксплуатационные параметры цилиндрических передач модифицируют боковую поверхность зубьев [3, 4]. Продольная модификация зубьев цилиндрических колес выполняется исходя из функционального назначения [5] и может быть разделена по ряду конструктивных признаков. В представленной работе рассмотрим известные виды продольной модификации зубьев в зависимости от конструктивных признаков.

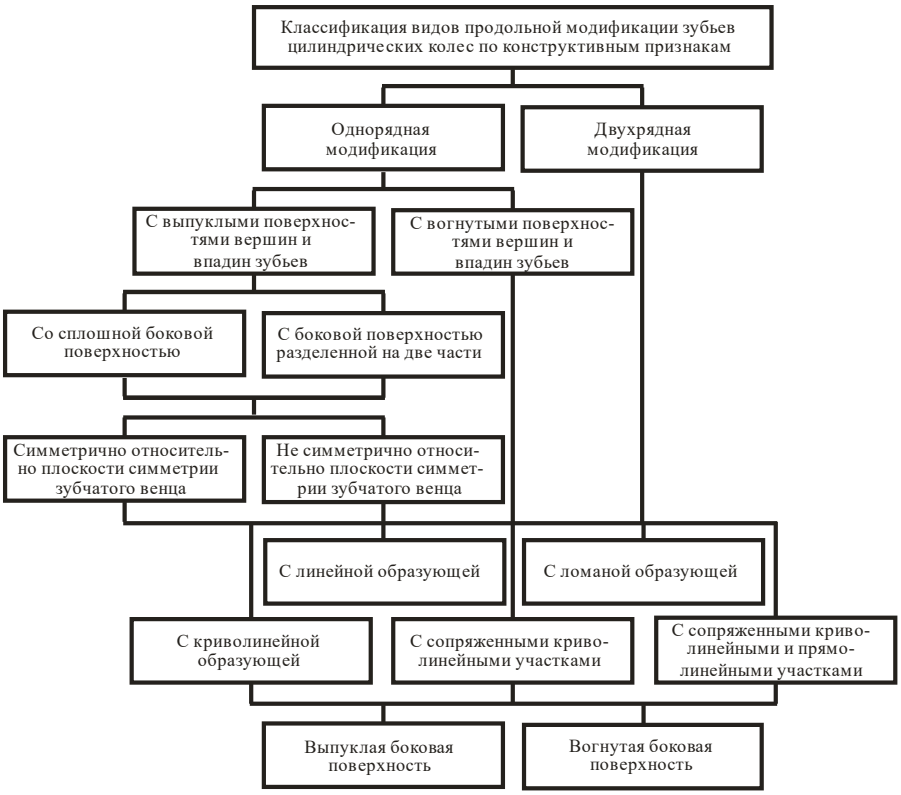


Рис. 1. Классификация видов продольной модификации зубьев по конструктивным признакам

Классификация видов продольной модификации зубьев цилиндрических колес в зависимости от конструктивных признаков представлена на рис. 1.

Зубчатые венцы цилиндрических зубчатых колес могут выполняться с однорядной и двухрядной продольной модификацией. Однорядная модификация нашла наиболее широкое

применение. Двухрядная продольная модификация рис. 2. применяется для передачи вращательного движения от одного привода на несколько ведомых колес при наличии погрешностей их изготовления и монтажа [6].

Цилиндрические зубчатые колеса с однорядной продольной модификацией выполняются в основном с выпуклыми поверхностями вершин зубьев, но также могут быть выполнены и с вогнутыми поверхностями вершин зубьев [7] рис. 3.

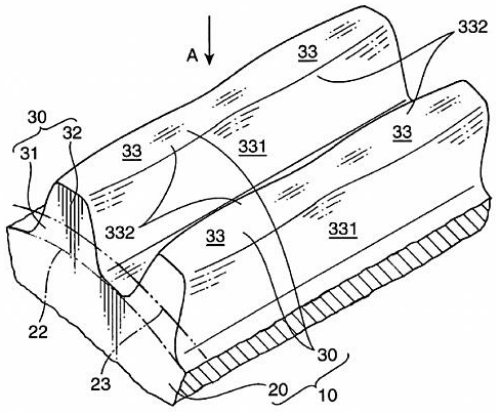


Рис. 2. Зубья с двухрядной продольной модификацией

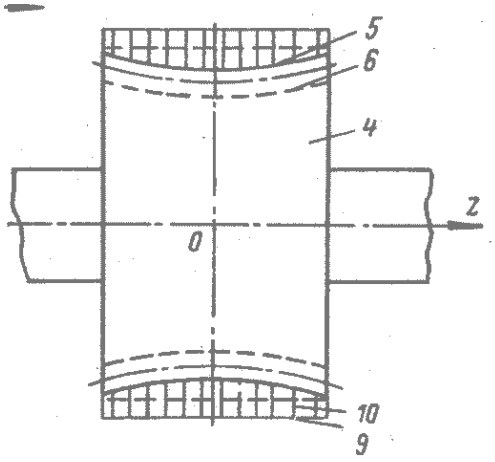
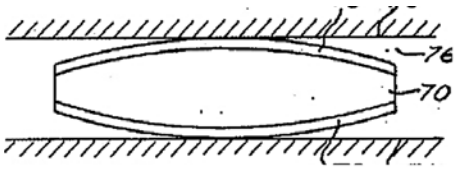
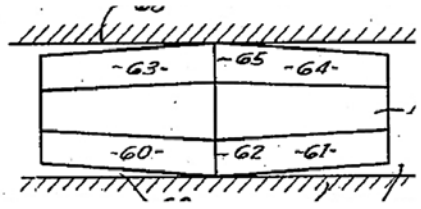


Рис. 3. Зубья с криволинейной образующей поверхностей вершин и впадин со стрелкой прогиба, обращенной в тело колеса

Боковая поверхность зубьев может быть сплошной или разделенной на две части [8] рис. 4. Выполнение зубьев, как втулки, так и обоймы ромбическими, позволяет компенсировать переменные углы перекоса зубьев, при обеспечении возможности смещения зубьев втулки относительно зубьев обоймы в осевом направлении [9] рис. 5.



а)



б)

Рис. 4. Форма боковой поверхности зубьев: а – сплошная; б – разделенная на две части

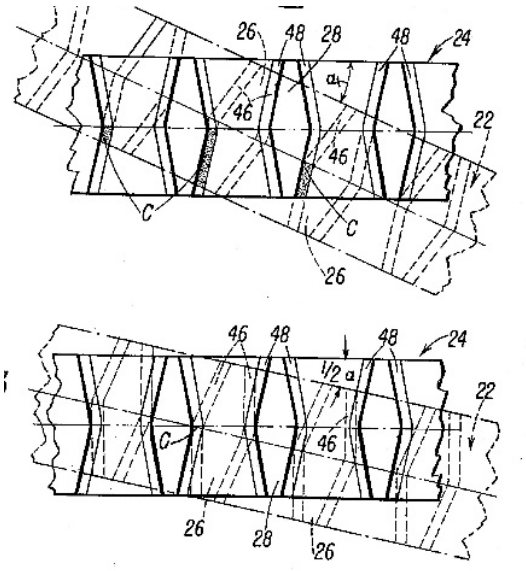


Рис. 5. Зубья втулки и обоймы ромбической формы

Модифицированные участки могут располагаться симметрично [10] и не симметрично относительно плоскости симметрии зубчатого венца рис. 6.

По форме образующей зубья с продольной модификацией делятся на: зубья с линейной [11] рис. 6. б, ломаной рис. 6. д, криволинейной, с сопряженными криволинейными участками [12, 13, 14, 15, 16, 17] и образующей с сопряженными криволинейными и прямолинейными участками [18, 19].

Модифицированная поверхность зубьев может быть выпуклой и вогнутой рис. 6.

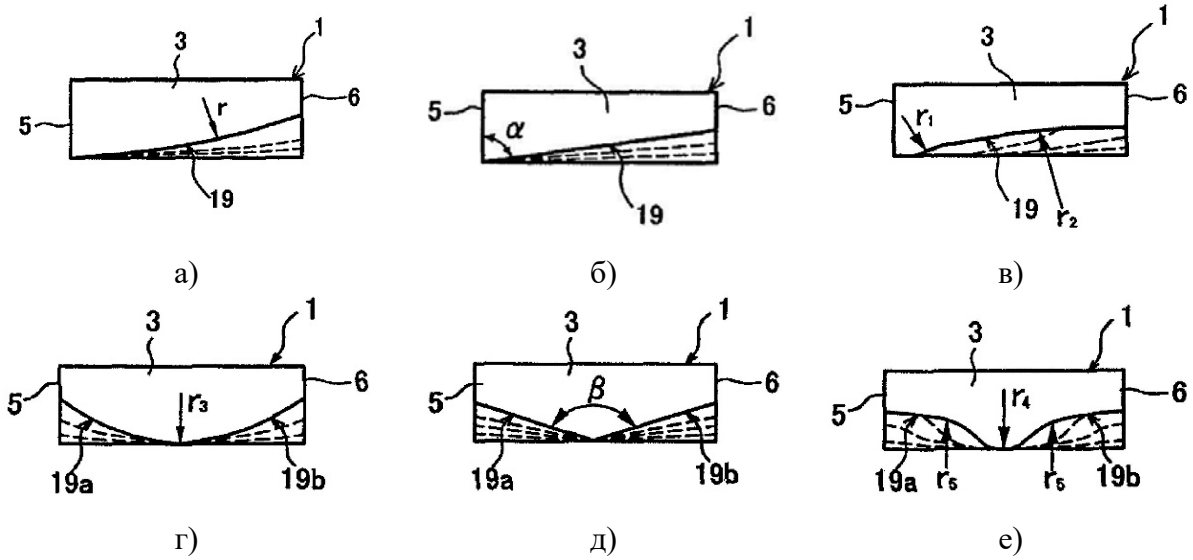


Рис. 6. Продольная модификация зубьев: а – выпуклая поверхность; б – линейчатая поверхность; в – вогнутая поверхность, г – симметричный зуб, д – ромбический зуб; е – переменной кривизны

Зубья, сужающиеся к одному из торцов зубчатого венца, используются при передаче значительных усилий и для того чтобы избежать осевого перемещения одного зубчатого венца относительно другого [11] рис. 7. Для исключения осевого перемещения венцов используют пары зубчатых колес, зубья которых сужаются к противоположным друг другу торцам.

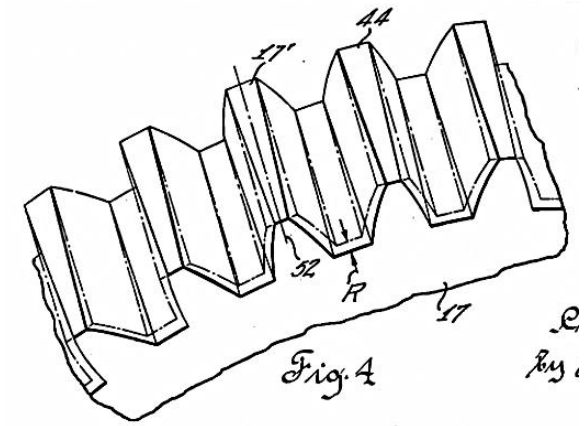


Рис. 7. Зубья, сужающиеся к одному из торцов

Криволинейная образующая боковой поверхности продольно модифицированных зубьев может быть круговой, эллиптической, участком эвольвенты [20], участком синусоиды [21] и т. д. Форма образующей боковой поверхности зубьев определяется предъявляемыми к зубчатым колесам требованиями: обеспечение компенсации максимального угла перекоса при минимальном гарантированном боковом зазоре; получение нужного характера контакта поверхностей зубьев; уменьшение контактных напряжений и прочее [3, 22, 23, 24]. Каждый из перечисленных способов аппроксимации линии смещения исходного контура имеет свои достоинства и недостатки. При этом отклонение кривых друг от друга в пределах ширины зубчатого

венца незначительно. Поэтому наиболее технологичной в изготовлении является аппроксимация линии смещения исходного контура по окружности [25].

Теоретическими и экспериментальными исследованиями было установлено, что применение криволинейной образующей боковой поверхности зубьев втулки позволяет значительно снизить величину гарантированного минимального бокового зазора необходимого для компенсации перекоса осей валов, и обеспечивает более равномерное распределение нагрузки между зубьями. А также продольная модификация зубьев уменьшает концентрацию контактных давлений по линии зуба.

Применение зубчатых втулок зубчатых муфт с продольной модификацией позволяет компенсировать не значительный угол перекоса валов до 45′. Недостатками такого соединения являются: контакт зубьев в ряде случаев является точечным, а это отрицательно влияет на долговечность зубчатых колес; пятно контакта смещается на вершину зуба из-за возникновения угла контактирования между эвольвентными профилями; вследствие тангенциальных смещений рабочих поверхностей зубьев нагрузка по периметру зацепления муфты распределяется неравномерно.

Список литературы: **1.** Грубка Р. М. Суммарные перемещения элементов цилиндрических передач внешнего зацепления, вызванные наличием погрешностей изготовления, монтажа и деформациями в процессе эксплуатации / Р. М. Грубка, И. А. Петряева, А. Н. Михайлов // Прогрессивные технологии и системы машиностроения: Международный сб. научных трудов. – Донецк: ДонНТУ, 2018. - Вып. 1 (60). - С. 19 - 24. **2.** Грубка Р. М. Обобщенные зависимости для пространственного соединения цилиндрических зубчатых колес, учитывающие наличие погрешностей и деформаций элементов передач / Р. М. Грубка // Прогрессивные технологии и системы машиностроения: Международный сб. научных трудов. — Донецк: Донец. нац. техн. ун-т, 2018. - Вып. 3(62). - С. 10 - 18. **3.** Сухоруков Ю. Н. Модификация эвольвентных зубчатых колёс: Справочник / Ю. Н. Сухоруков. — К.: Техника, 1992. — 197 с. **4.** Грубка, Р. М. Конструктивные способы повышения эксплуатационных показателей цилиндрических зубчатых передач / Р. М. Грубка // Прогрессивные технологии и системы машиностроения: Международный сб. научных трудов. – Донецк: ДонНТУ, 2019. - Вып. 1 (64). - С. 17 - 22. **5.** Грубка, Р. М. Классификация видов продольной модификации зубьев цилиндрических зубчатых колес в зависимости от функционального назначения [Текст] / Р. М. Грубка, А. Н. Михайлов, И. А. Петряева // Механики XXI веку: материалы XVIII Всероссийской научно-технической конференции с международным участием. – Братск: Изд-во БрГУ, 2019. – С. 187 - 190. **6.** US 2007/0017314 A1 United States Patent, МПК^7 F16H 55/00. Gear and gear mechanism / Hidehisa Konishi, Osaka-shi (JP); Kyocera Mita Corporation, Osaka-shi (JP) . — No.: 11/486,875; Filed Jul. 14, 2006; Pub. Date: Jan. 25, 2007. — 10 с. : ил. **7.** Пат. 1153148 СССР, МПК^7 F16 H1/06. Зубчатая передача / М. С. Александров, А. Е. Кузьмин, А. Б. Седнев и А. Е. Слицкий; заявитель и патентообладатель Ордена Ленина и ордена Трудового Красного Знамени производственное объединение "Невский завод" им. В. И. Ленина. — № 3649331/25-28; заявл. 03.10.83; опубл. 30.04.85., Бюл. № 16. - 3 с.: ил. **8.** US 2841966 United States Patent. Flexible couplings / Charles W. Belden and Harley E. Northrop. — No.: 546,744 ; Filed November 14, 1955; Patented July 8, 1958. — 13 с. : ил. **9.** US 3013411 United States Patent. Gear type constant velocity joint / Gunner A. Wahlmark. — No.: 21,761; Filed 12, 1960; Patented Dec. 19, 1961. — 9 с. : ил. **10.** Пат. 1037713 СССР, МПК^7 F16D3/18. Зубчатая муфта/ С. А. Лагутин, А. И. Робер, А. А. Ковтушенко, Б. С. Уткин, В. И. Толока. — № 3243188/27; заявл. 27.01.1981; опубл. 10.04.2000. **11.** DE 198 59143 A1

Deutsches Patent Int. Cl.7 F 16 H 55/08. Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen / Peterreins, Thomas, 90408 Nürnberg, DE; Anmelder Bühler Motor GmbH, 90459 Nürnberg, DE — № 198 59 143.8; Anmeldetag: 21.12.1998 ; Offenlegungstag: 29. 6.2000. — 13 с. : ил. **12.** Пат. 2011904 Рос. Федерация, МПК^7 F16D3/18. Зубчатая муфта / Б. С. Уткин, А. И. Робер, Э. Л. Айрапетов; заявитель и патентообладатель Производственное объединение "Электростальтяжмаш". — № 5032653/27; заявл. 17.03.1992; опубл. 30.04.1994. **13.** US 2927510 United States Patent. Method And Machine For Producing Toothed Couplings / Ernest Wildhaber, Rochester, NY. — № 582,961; Filed May 7, 1956; Patented Mar. 8, 1960. — 14 с. : ил. **14.** US 3292390 United States Patent, МПК^7 F16 D3/18. Gear coupling / Ernest Wildhaber. — № 444,736; Filed Apr. 1, 1965, 2009; Patented Dec. 20, 1966. — 4 с. : ил. **15.** Пат. 1216470 СССР, МПК^7 F16D 3/18. Зубчатая муфта / А. П. Попов; заявитель и патентообладатель Николаевский ордена Трудового Красного Знамени корабелистроительный институт им. адм. С.О. Макарова — № 3799340/25-27; заявл. 13.04.86; опубл. 07.03.86, Бюл. № 9. — 4 с. : ил. **16.** Пат. 1410611 А1 СССР, МПК^7 F16D 3/18. Зубчатая муфта / А. И. Робер. Б. С. Уткин. Р. С. Соловьев, Э. Л. Айрапетов, С. А. Лагутин и В. И. Толока. — № 4079904/27; заявл. 15.05.86 ; опубл. 30.09.92, Бюл. № 36. — 6 с. : ил. **17.** US 2922294 United States Patent. Toothed couplings / Ernest Wildhaber, Brighton, N.Y.. — No.: 653,688; Filed April 18, 1957; Patented Jan. 26, 1960. — 11 с. : ил. **18.** Пат. 550515 СССР, МПК7 F16H 55/16; F16H 1/08. Зубчатое колесо / Г. А. Иванов, В. П. Прохоров; заявитель и патентообладатель Московский станкоинструментальный институт. — № 2141325/28; заявл. 06.06.75; опубл. 15.03.77, Бюл. № 10. - 2 с.: ил. **19.** Пат. 1695009 СССР, МПК^7 F16 D3/18. Зубчатая муфта / А. П. Попов, И. И. Добринов и П. А. Тонко; заявитель и патентообладатель Николаевский кораблестроительный институт им. адм. С. О. Макарова. — № 4710770/27; заявл. 26.06.89; опубл. 30.11.91., Бюл. № 44. - 4 с.: ил. **20.** Пат. 1087720 СССР, МПК^7 F16H 1/04; F16H 55/17; F16D 3/18. Зубчатый венец / С. А. Лагутин, А. И. Робер, Б. С. Уткин, В. И. Толока, М. Л. Ерихов, Г. П. Дрововозов и Э. Л. Айрапетов. — - № 3546029/25-28; заявл. 25.01.83; опубл. 23.04.84, Бюл. № 15. - 4 с.: ил. **21.** Пат. 1423834 СССР, МПК^7 F16 D3/18. Зубчатая муфта / Д. Б. Мирзаджанов, Е. В. Хворостов, Н. А. Алиев, Э. Л. Айрапетов, Б. С. Уткин и А. И. Робер; заявитель и патентообладатель Бакинский политехнический техникум. - № 4142454/31-27; заявл. 09.07.86; опубл. 15.09.88., Бюл. № 34. - 3 с.: ил. **22.** Котляров, Б.С. Формообразование бочкообразных зубьев при применении роторных схем [Текст] / Б. С. Котляров // Совершенствование конструкций и технологии зубообработки передач зацеплением. - Ижевск, 1984. - С. 38. **23.** Котляров, Б. С. Управление модификацией при роторной обработке ЦЗК [Текст] / Б. С. Котляров, В. Г. Дигтенко // Проблемы прочности, надёжности и металлоёмкости передач и редукторов. — Севастополь, 1986. — С. 19 — 20. **24.** Тернюк, Н. Э. Метод синтеза модификаций зубьев цилиндрических колёс [Текст] / Н. Э. Тернюк, Б. С. Котляров, А. В. Павленко // Теория реальных передач зацеплением. — Курган, 1988. — С. 120 — 121. **25.** Коськин, В. Н. К вопросу о выборе рациональной формы зубьев зубчатых муфт [Текст] / В. Н. Коськин // Изв. вузов. Машиностроение. — 1973. — № 4. — С. 53 — 57.

ПРИМЕНЕНИЕ КОМБИНИРОВАННЫХ МЕТОДОВ ОПТИМИЗАЦИИ В УТОЧНЕННЫХ ВАРИАЦИОННЫХ ПОСТАНОВКАХ ЗАДАЧ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ОПРЕДЕЛЯЮЩИХ ХАРАКТЕРИСИК КОМПОЗИТОВ

Гусев Е.Л. *(Институт проблем нефти и газа Сибирского Отделения РАН, Северо-Восточный федеральный университет, Институт математики и информатики, г. Якутск, Россия)*
E-mail: elgusev@mail.ru

Abstract: *A study of the problem of solving problems of forecasting changes in the defining characteristics of composite materials and structures under the influence of extreme environmental factors. The determining characteristics may be the residual life, reliability, durability of composite materials and structures. The application of combined methods for finding the extremum of multiparametric performance indicators for solving inverse problems of predicting the determining characteristics of composite materials and structures based on complicated models is considered.*

The question of the most effective design of the combined approaches representing a set of several methods for the solution of inverse problems of forecasting of defining characteristics of composite materials and designs is investigated.

Key words*: Composite materials, composite structures, problems of prediction, extremum seeking, combined methods, defining characteristics, residual life, reliability, multivariable indicators of efficiency, durability***.**

Введение. При разработке различных конструкций, машин и механизмов одной из важных проблем является проблема создания надежных методов количественной оценки работоспособности конструкций из полимерных и композиционных материалов [1-14]. Композиционные материалы, как правило, постоянно находятся под влиянием статических и динамических нагрузок, на которые дополнительно накладывается влияние экстремальных факторов внешней среды. В соответствии с этим значительную актуальность имеет проблема разработки математических методов решения обратных задач прогнозирования определяющих характеристик композитов при воздействии эксплуатационных нагрузок и экстремальных факторов внешней среды. Задачи прогнозирования остаточного ресурса, прочности, надежности, долговечности композиционных материалов и конструкций являются в значительной степени многоаспектными, для их успешного решения необходимы глубокие знания на стыке многих областей, таких как физика, химия, материаловедение, современные математические методы и подходы, физика и механика композитов и др.

Одностороннее решение задач прогнозирования определяющих характеристик композитов на основе методов и подходов, присущих для одной научной области, как правило, приводит к упрощенным решениям, имеющим значительную погрешность. Недостатком известных методов и подходов, применяемых для решения задач прогнозирования определяющих характеристик композитов является то, что как правило, данные методы являются упрощенными, и не основываются на современном математическом аппарате. Следствием этого является то, что прогнозируемые решения, получаемые с помощью известных методов и подходов, могут существенно отличаться от реальных зависимостей.

Цель: разработка и применение комбинированных методов поиска экстремума многопараметрических показателей эффективности для решения обратных задач про-

гнозирования определяющих характеристик композиционных материалов и конструкций в вариационной постановке на основе усложненных моделей.

Материалы и методы исследования: В качестве определяющей характеристики композиционной конструкции может рассматриваться ее остаточный ресурс. Модели, описывающие зависимость изменения одной из определяющих характеристик (например, прочности R полимерных композитов) при воздействии климатических факторов в общем виде могут быть представлены в форме функциональных зависимостей следующего вида:

$$R(u_1,u_2,...,u_n;t) = R_0 + \Phi(u_1,u_2,...,u_n;t). \quad (1)$$

$$\Delta R(u;t) = \Phi(u;t), \quad \Delta R = R - R_0. \quad (2)$$

Обозначим $\Delta\overline{R}_t^{э}$ – экспериментальные средние значения функции $\Delta R = R - R_0$ на экспериментальных образцах после t-го года (t=1,2,…,m). Параметры оптимальной модели прогнозирования $u^* = (u_1^*, u_2^*, ..., u_m^*)$ доставляют экстремальное значение специальному критерию эффективности J, являющемуся сложной функцией параметров задачи прогнозирования:

$$J(u) = J\left(\left\{\Delta R(u,t)\right\}_{t=1}^{m};\ \left\{\Delta\overline{R}_t^{э}\right\}_{t=1}^{m}\right). \quad (3)$$

В качестве критерия эффективности как сложной функции параметров задачи прогнозирования вида целесообразно выбрать среднеквадратическое отклонение аппроксимации экспериментальных данных $R_t^{э}$ от теоретических значений R(u,t):

$$J(u_1,u_2,...,u_n) = S^2 = \frac{1}{m}\sum_{t=1}^{m}\left(R(u_1,u_2,...,u_n;t_i) - R_{t_i}^{э}\right)^2. \quad (4)$$

В случае, когда экспериментальные данные достаточно адекватно отображают структуру зависимости изменения определяющих характеристик композиционных материалов от воздействия экстремальных факторов внешней среды и эксплуатационных нагрузок, и экспериментальные данные получены с незначительными погрешностями, несущественно искажающими закономерности поведения реальных зависимостей, задача восстановления параметров моделей композиционных материалов от воздействия экстремальных факторов внешней среды и эксплуатационных нагрузок может быть сведена к нахождению абсолютного минимума функции качества (4) в экстремальной задаче:

$$J(u^*) = \min_u J(u). \quad (5)$$

Задача восстановления параметров моделей изменения остаточного ресурса композиционной конструкции от воздействия экстремальных факторов внешней среды и эксплуатационных нагрузок может быть сведена к решению экстремальной задачи (5).

Вектор параметров $u^* = \left(u_1^*, u_2^*, ..., u_n^*\right)$, доставляющих минимум показателю

эффективности J(u) (4), определяет оптимальную прогнозируемую зависимость изменения определяющих характеристик композиционного материала от воздействия экстремальных факторов внешней среды и эксплуатационных нагрузок.

Результаты и обсуждение Качественный конструктивный анализ результатов проведенных вычислительных экспериментов позволил разработать новый эффективный подход для эффективного решения проблемы прогнозирования определяющих характеристик композитов при воздействии экстремальных факторов внешней среды. Данный подход может быть наиболее эффективен для решения достаточно сложных задач прогнозирования определяющих характеристик композитов с показателями эффективности, в которых зависимость от неопределенных параметров имеет сложно-построенную многоэкстремальную структуру.

Характерной особенностью таких задач прогнозирования определяющих характеристик композитов при воздействии экстремальных факторов внешней среды с показателями эффективности, имеющими сложнопостроенную многоэкстремальную структуру, является то, что применение известных распространенных методов поиска минимума многопараметрических функций приводит к различным результирующим решениям с существенно различающейся структурой.

Обобщение существующих подходов к решению задач поиска минимума много-параметрических показателей эффективности, связанных с усложненными вариационными постановками задач прогнозирования определяющих характеристик композитов при воздействии экстремальных факторов внешней среды может быть достигнуто на основе перехода к параллельным процедурам принятия решений, когда для решения задачи одновременно применяется несколько методов. В основу разрабатываемого подхода положено наиболее полное использование обобщенной информации о результатах применения группы известных методов для решения задачи поиска минимума много-параметрического показателя эффективности.

Введем следующее дополнительное предположение о качественных структурных особенностях многопараметрической зависимости показателя эффективности в задаче прогнозирования остаточного ресурса композита.

Предположение 1. Многопараметрическая зависимость показателя эффективности в задаче прогнозирования остаточного ресурса композита обладает тем свойством, что наиболее глубокие локальные минимумы данной зависимости в пространстве параметров группируются внутри области небольших размеров.

Как показывают результаты вычислительных экспериментов для вариационных постановок обратных задач прогнозирования остаточного ресурса композитов введение такого предположения является достаточно обоснованным.

На основе разработанных ранее методов, описание которых представлено в работах [12-14], разработан комбинированный подход для решения задач прогнозирования определяющих характеристик композиционных материалов и конструкций в усложненной постановке, основанный на комбинированном применении параллельных процедур принятия решений.

Выводы: Рассматриваемый комбинированный подход, связанный с параллельным применением составляющих его методов, может быть эффективно применен для решения усложненных обратных задач прогнозирования определяющих характеристик композиционных конструкций, описываемых моделями сложной структуры, когда есть основания считать, что применение существующих методов не позволяет построить действительно глобально-оптимальное решение. В соответствии с этим применение

разработанного комбинированного подхода может позволить существенно повысить эффективность методов прогнозирования определяющих характеристик композиционных материалов и конструкций при воздействии экстремальных факторов внешней среды.

Список литературы: 1. Уржумцев Ю.С. Прогнозирование длительного сопротивления полимерных материалов - М. : Наука, 1982. - 222 с. **2.** Болотин В. В. Прогнозирование ресурса машин н конструкций. М., 1984. 312 с. **3.** Булманис В.Н., Ярцев В.А., Кривонос В.В. Работоспособность конструкций из полимерных композитов при воздействии статических нагрузок и климатических факторов// Механика композитных материалов, 1987, № 5, с. 915-920. **4.** Булманис В.Н., Старцев О.В. Прогнозирование изменения прочности полимерных волокнистых композитов в результате климатического воздействия. Препринт. — Якутск: Якутский филиал СО АН СССР, 1988. -32 с. **5.** Филатов И.С., Бочкарев Р.Н. Некоторые проблемы оценки и прогнозирования климатической устойчивости полимерных материалов//Методы оценки климатической устойчивости полимерных материалов, Якутск, ЯФ СО АН СССР, 1986, с. 11-20. **6.** Потапова, Л.Д. , Ярцев В.П. Механика материалов при сложном напряженном состоянии : как прогнозируют предельные напряжения? М. : Машиностроение, 2005. – 242. **7.** Реутов А.И. Прогнозирование надежности строительных изделий из полимерных материалов. М.: ООО РИФ «Стройматериалы», 2007. - 184 с. **8.** Реутов А.И. , Сидоренко А.А., Филатов И.С. Оценка климатической устойчивости полимерных материалов на основе вероятностно-статистического метода // Известия ТПУ, 2002, т. 305, в. 5, с. 196-203. **9.** Реутов А.И. Прогнозирование климатической стойкости полимерных материалов, применяемых в строительстве // Вестник ТГАСУ, 2009, №2, с. 127-141. **10.** Степанов М.Н., Зинин А.В. Прогнозирование характеристик сопротивления усталости материалов и элементов конструкций. М.: Инновационное машиностроение, 2007. 392 с. **11.** Башкарев А. Я. , Веттегрень В.И.., Суслов М.А. Долговечность полимерных композитов, СППТУ, С-Птб, 2016. - 147 с. **12.** Гусев Е.Л., Бабенко Ф.И. Методы поиска экстремума с оптимальным выбором параметров для решения задач восстановления параметров моделей прогнозирования определяющих характеристик полимерных композитов//Сб. трудов «Материалы для технических устройств и конструкций, применяемых в Арктике», М., Всероссийский институт авиационных материалов, 2015, с.132-141. **13.** Гусев Е.Л. Задачи, связанные с уточнением моделей прогнозирования остаточного ресурса полимерных композитов и методы их решения// Прогрессивные технологии и системы машиностроения, 2017, т.57, в.2, с. 9-16. **14.** Гусев Е.Л., Бакулин В.Н. Методы решения обратных задач прогнозирования остаточного ресурса конструкций из композиционных материалов при воздействии экстремальных климатических факторов внешней среды в уточненных постановках//Сб. трудов 7-ой Всероссийской конференции с международным участием «Механика композиционных материалов и конструкций, сложных гетерогенных сред» , М., изд. ИПРИМ РАН, 2017, с. 68-70.

К ВОПРОСУ О ЛАЗЕРНОМ МОДИФИЦИРОВАНИИ ИЗДЕЛИЙ ИЗ СЕРОГО ЧУГУНА КАРБИДОМ ВОЛЬФРАМА

Девойно О.Г., Кардаполова М.А., Косякова И.М.
(БНТУ, г. Минск, Республика Беларусь)
Тел./Факс: +375 (17) 3310045; E-mail: scvdmed@bntu.by

Abstract: *The article presents the study results of the microstructure and microhardness of gray cast iron СЧ20 after laser hardening and laser alloying with tungsten carbide. The processing was carried out using a continuous CO_2 laser with a power of 1 kW at a laser beam velocity of 100–900 mm/min. As a alloying result of the gray cast iron with WC, the microhardness increased from 2.3 GPa (initial structure) to 11.1-13.5 GPa (after quenching 6.1 ... 7.7 GPa). The gray cast iron microhardness after laser alloying is significantly affected by the speed of the laser beam. The correlation between processing speed and microhardness is 85-87%.*

Key words: *laser alloying, laser hardening, tungsten carbide, microstructure, microhardness.*

Введение

Серые чугуны нашли широкое применение в машиностроении для изготовления корпусных деталей. Выбор марки чугуна зависит от типа детали, ее функционального назначения, а также характера и типа износа испытываемых сопрягаемыми поверхностями деталей. В ряде случаев из-за тяжелых локальных нагрузок и значительного износа (абразивный, адгезионный, усталостный и др.) возникает необходимость в поверхностном упрочнении проблемных зон. С позиции экономичности, эффективности и качества в настоящее время наиболее предпочтительным является использование высококонцентрированных источников нагрева – например, лазерное упрочнение [1-2].

Лазерные технологии поверхностной обработки материалов находят все большее и разнообразное применение [2–4]. Лазерная закалка применяется для упрочнения серого чугуна [5-7], которая позволяет увеличить микротвердость поверхности чугунных деталей. Для придания поверхности чугунных деталей дополнительных свойств применяется лазерное легирование. В данной работе рассмотрено сравнение лазерной закалки и лазерного легирования серого чугуна СЧ20 карбидом вольфрама.

Методика проведения исследований

Шликерная обмазка наносилась на подготовленную дробеструйной обработкой поверхность образцов из чугуна СЧ20 прямоугольной формы сечением 10х10 и длиной 30 мм. Обмазка состояла из модифицирующей добавки WC с небольшим количеством связующего (2-%-ный раствор клея «AGO» в ацетоне). Процесс оплавления осуществляли непрерывным лазером Комета-2 мощностью N = 1 кВт при диаметре пятна лазерного луча d=1,0 * 10^{-3} м.

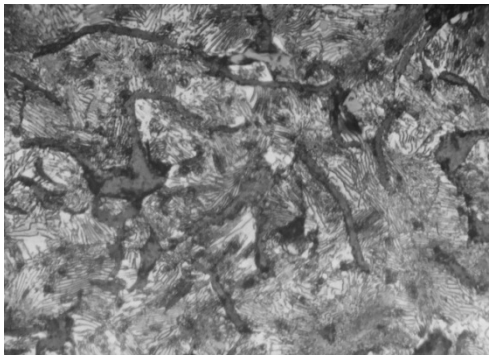


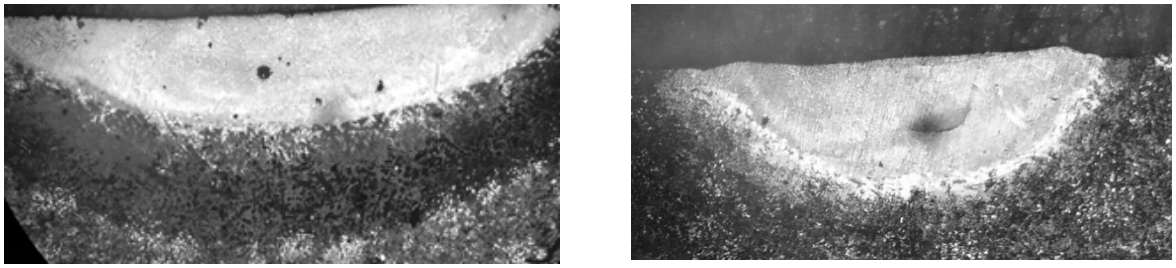
Рис. 1. Структура исследованного чугуна СЧ20 в исходном состоянии, х500

Микротвердость измерялась микротвердомером ПМТ-3 при нагрузке 100 г и времени экспозиции 10 с. Микроструктура зон лазерного термоупрочнения анализировалась оптической микроскопией с помощью микроскопа MICRO-200 при увеличении от 100 до 1000 раз. Для выявления микроструктуры использовали 4 %-й водный раствор азотной кислоты.

Заготовки образцов чугуна имели феррито-перлитную структуру (рисунок 1). Форма графита – пластинчатая.

Результаты и обсуждение

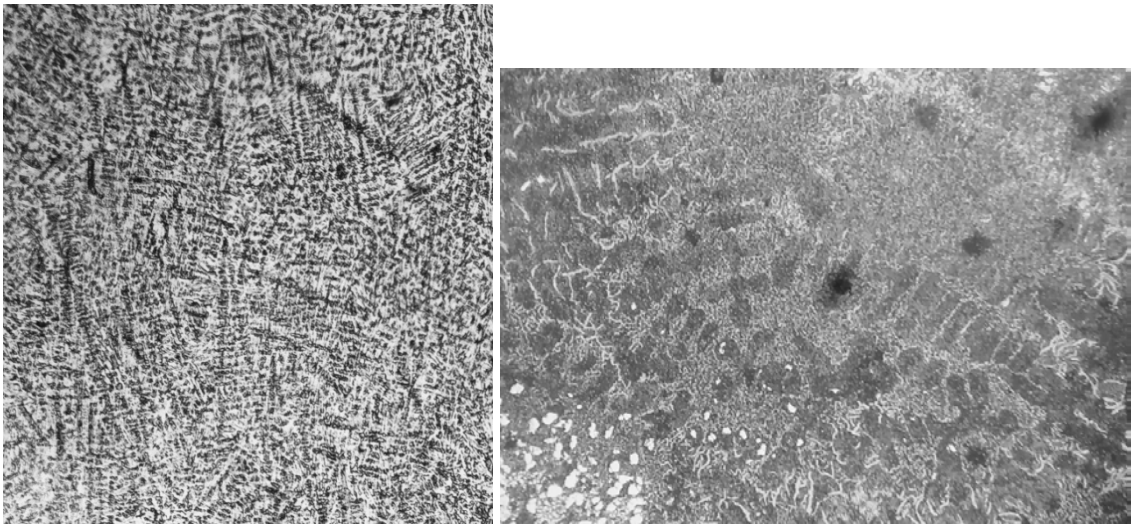
Микроструктура в сечении одиночных лазерных дорожек, полученных при лазерном легировании и лазерной закалке, представлена на рисунке 2.



а) б)

Рис. 2. Вид сечения зоны лазерного легирования чугуна СЧ20, полученной при скорости перемещения луча 100 мм/мин, х100 (а – лазерное легирование; б – лазерная закалка)

При лазерном легировании и при лазерной закалке зона лазерного легирования состоит из зоны оплавления (закалки из жидкой фазы) и закалки из твердой фазы. Зона термического влияния состоит лишь из закалки из твердой фазы. При лазерной закалке и при лазерном легировании можно отметить, что в зоне оплавления отсутствуют графитные включения, а структура представляет собой дендриты, состоящие из ветвей первого и второго порядка (рисунок 3).



а) б)

Рис. 3. Структура исследованного чугуна СЧ20 в зоне оплавления (а) и в зоне закалки из твердой фазы (б), х990

Глубина зоны лазерного воздействия и при лазерном легировании и при лазерной закалке примерно одинаковая и составляет 1,05…1,10 мм. На рисунке 4 представлено распределение микротвёрдости серого чугуна по глубине зоны упрочнения при лазерной закалке и при лазерном легировании.

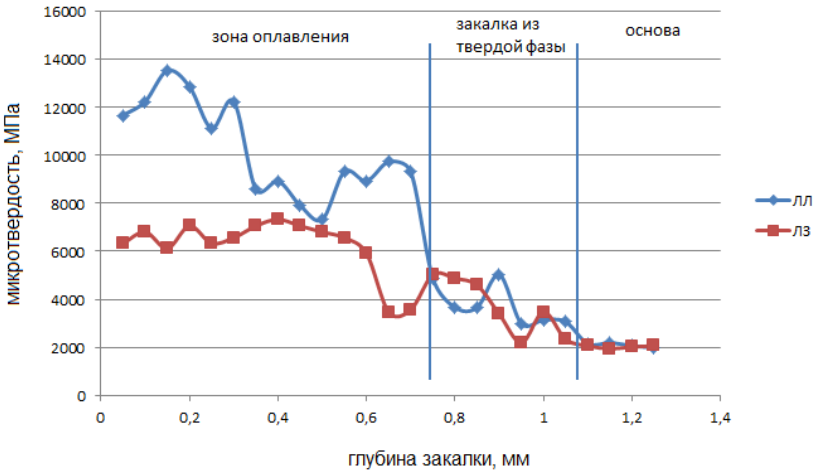


Рис. 4. Зависимость микротвердости серого чугуна от глубины зоны легирования при лазерном легировании (ЛЛ) карбидом вольфрама и при лазерной закалке (ЛЗ), скорость перемещения луча 100 мм/мин

Как видно из рисунка 4, лазерная закалка позволяет увеличить микротвердость чугуна до 6,1-7,7 ГПа, а лазерное легирование – до 11,1-13,5 ГПа, при этом твердость основы чугуна составляет 1,9-2,3 ГПа. Можно предположить, что увеличение микротвердости чугуна после лазерного легирования связано с тем, что карбид вольфрама при быстром нагреве и быстром охлаждении легирует матрицу серого чугуна. Таким образом, можно сделать вывод, что лазерное легирование является более эффективным, чем лазерная закалка.

Далее исследования проводили только при лазерном легировании. На рисунке 5 представлена зависимость микротвердости и глубины зоны лазерного воздействия серого чугуна от скорости пятна нагрева.

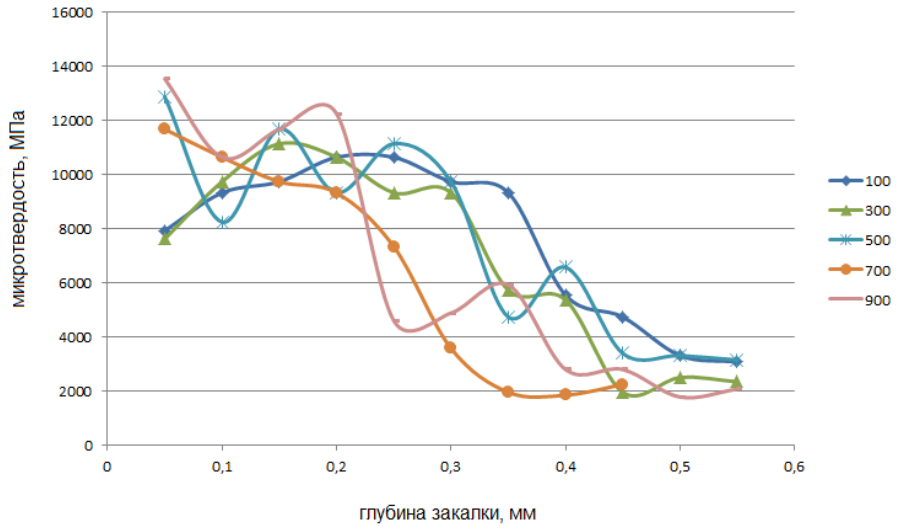


Рис. 5. Зависимость микротвердости (H, МПа) и глубины зоны лазерного легирования (h, мм) серого чугуна СЧ20 от скорости (V, мм/мин), пятна нагрева в диапазоне скоростей от 100 мм/мин до 900 мм/мин, d=1 мм

Как видно из графика, максимальная микротвердость на поверхности материала наблюдается при скорости перемещения луча 900 мм/мин. Общей характерной закономерностью является уменьшение значений микротвердости с увеличением глубины закаленного слоя. Это связано с переходом от режима полного проплавления к режиму закалки из твердой фазы.

По данным исследований проводили корреляционный анализ на ПЭВМ с помощью программы «Approximator». Для каждой пары факторов рассчитывали коэффициенты парной корреляции по всем возможным вариантам взаимодействий.

Графики парных взаимодействий с наибольшим коэффициентом корреляции представлены на рисунках 6-7.

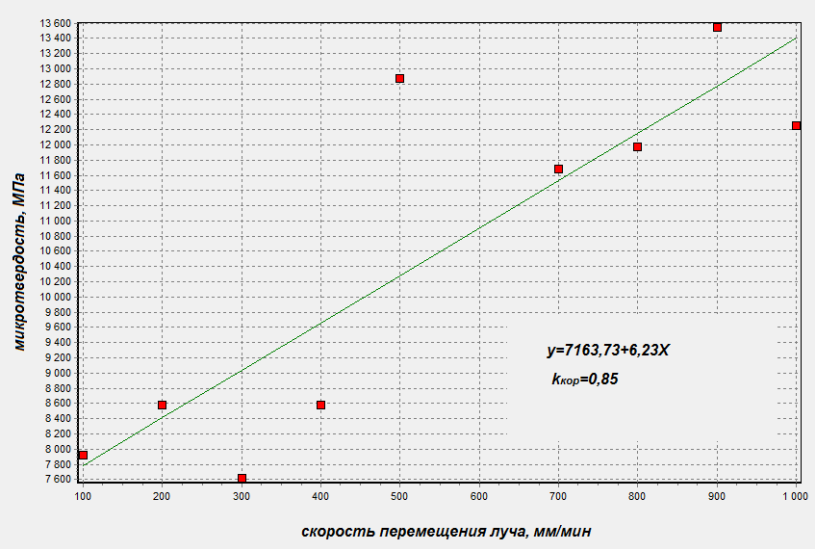


Рис. 6. Влияние скорости перемещения лазерного луча на микротвердость серого чугуна СЧ20

Между скоростью перемещения луча лазера и поверхностной микротвердостью наблюдается прямая корреляция – при увеличении скорости микротвердость тоже увеличивается. Коэффициент корреляции 85-87%.

Выводы. В результате легирования серого чугуна WC микротвердость повысилась от 2,3 ГПа (исходная структура) до 11,1-13,5 ГПа (после закалки 6,1…7,7 ГПа). Предположительно WC равномерно располагается по ванне расплава, а W легирует матрицу, повышая прочностные свойства чугуна. На микротвердость серого чугуна после лазерного легирования оказывают значительное влияние параметры лазерной обработки: с увеличением скорости микротвердость увеличивается. Корреляция между скоростью обработки и микротвердостью составляет 85-87 %.

Список литературы: **1.** Григорьянц, А. Г. Основы лазерной обработки материалов / А. Г. Григорьянц. – М.: Машиностроение, 1989. – 304 с. : ил. **2.** Гилев, В. Г. Лазерное инжекционное легирование аустенитного чугуна ЧН16Д7ГХ титаном / В. Г. Гилев, Е. А. Морозов // Изв. вузов. Порошковая металлургия и функциональные покрытия. – 2015. – № 3. – С. 44–52. **3.** Gilev, V. Laser Quenching Of Axial Bearings In Submersible Multistage Pumps Made Of Steel-Brass Pseudo-Alloy / V. Gilev, E. Morozov, A. Khanov, T. Ablyaz // International Journ. of Applied Engineering Research. – 2015. – Vol. 10, № 20. – P 40861–40868. **4.** Mordike, B.L. Improvement of wear properties by laser surface treatment / B. L. Mordike // Proc. 3d Eurohean Cjnf. «Laser Treatment of Materials. ECLAT'90» 2 Vol. Eds. H.W. Bergmann, R/ Kupfer. – Vol. 1. – P. 371-376. **5.** Чеканова, Н. Т. Исследование влияния мощного CO2 - лазера и свойства чугунов, применяемых в автомо-билестроении: Дисс. канд. тех. наук. - Завод ВТУЗ при Моск. автом. з-де им. И.А. Лихачева, 1981. - 187 с. **6.** Ходаковский, В. М. Особенности лазерного упрочнения чугунных деталей судовых технических средств / В. М. Ходаковский, Е. П. Патенкова // Металлообработка. – 2003. – № 4. – С. 26–29. **7.** Сафонов, А. Н. Изучение структуры и твердости поверхности железоуглеродистых сплавов после их оплавления лазерным излучением / А. Н. Сафонов // МиТОМ. – 1999. – № 1. – С. 7–10.

ОЦЕНКА УРОВНЯ ОСТАТОЧНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ В 2D И 3D МУЛЬТИМОДАЛЬНЫХ ПОКРЫТИЯХ, НАНЕСЕННЫХ ЛАЗЕРНОЙ НАПЛАВКОЙ

Девойно О.Г., Кардаполова М.А., Луцко Н.И., Лапковский А.С., Пилецкая Л.И.
(БНТУ, г. Минск, Республика Беларусь)
Тел./Факс: +375 (17) 3310045; E-mail: scvdmed@bntu.by

Abstract: *The article explores the possibility of assessing the level and sign of residual stresses in coating deposited by laser cladding by deflection of prismatic samples. It is shown that in multimodal coatings from dissimilar materials tensile residual stresses are formed, the level of which is quite high. The regularity of the effect of the laser cladding speed on the level of residual stresses in multimodale coatings of an alloy based on nickel and bronze is established.*
Key words: *Residual stresses, laser cladding, deflection, cladding speed, multimodal coatings.*

Остаточные напряжения являются важнейшей характеристикой состояния поверхностного слоя. Это упругие напряжения, которые остаются в поверхностном слое после любого вида обработки, в том числе после нанесения покрытий. Остаточные напряжения, в случае нанесения покрытий, в значительной степени влияют на эксплуатационные характеристики последних. При этом, если остаточные напряжения сжатия приводят к повышению прочности деталей, то напряжения растяжения ослабляют их прочность и приводят к возникновению трещин в покрытиях. В то же врем, как раз остаточные напряжения растяжения возникают в покрытиях наиболее часто.

Лазерная наплавка позволяет производить нанесение мультимодальных покрытий из разнородных материалов путем послойного чередования наплавочных валиков, состоящих из материалов, чьи физико-механические свойства достаточно сильно отличаются. Следует ожидать, что такие покрытия будут приводить к возникновению достаточно больших остаточных напряжений. Оценка уровня остаточных напряжений, возникающих в 2D и 3D мультимодальных покрытиях, нанесенных лазерной наплавкой, и является целью настоящего исследования.

Механизм образования остаточных напряжений, методы их выявления, классификация достаточно полно изложены в работах [1, 2, 3]. В соответствии с этими работами различают остаточные напряжения первого, второго и третьего рода. В силу сложности определения напряжений второго и третьего рода, в данной работе будет рассматриваться уровень остаточных напряжений первого рода. Существует достаточно много методик определения остаточных напряжений [3]. Тем не менее, большинство из них невозможно применить для исследования покрытий, нанесенных лазерной наплавкой из-за большой неоднородности физико-механических свойств поверхностного слоя. Поэтому производилось изучение напряженного состояния на различных этапах нанесения покрытий и при различных технологических режимах путем проведения оценочных экспериментов, которые позволяли произвести качественный анализ влияния режимов нанесения мультимодальных покрытий на знак и уровень технологических остаточных напряжений. Критерием оценки являлась величина прогиба призматических образцов.

Образцы для исследований представляли собой призму с размерами 70×20×3 мм из стали 45. На одну сторону образцов наносили методом лазерной наплавки 3D (двухслойное) мультимодальное покрытие, состоящее из слоев с чередующимися в каждом слое валиками из самофлюсующегося сплава на основе никеля (ПГ-12Н-01) и бронзы (ПГ-19М-01). Для каждого режима лазерной наплавки использовали по 5

образцов с мультимодальным покрытием. Для сравнения были изготовлены образцы со со сплошной лазерной наплавкой сплава ПГ-12Н-01 и со сплошной наплавкой бронзы ПГ-19М-01, а также образцы, подвергнутые лазерной закалке. Для каждого вида обработки было использовано по 5 образцов.

Наплавка покрытий выполнялась на лазерном технологическом комплексе на базе CO_2 лазера непрерывного действия «Комета 2» и координатного стола с системой числового программного управления. При наплавке мультимодальных покрытий использовались скорости наплавки сплава/бронзы 80/120, 100/140, 120/160, 140/180, 160/200 мм/мин. Мощность лазерного излучения составляла 1000 Вт. Нанесению покрытий предшествовала операция дробеструйной обработки чугунной колотой дробью размером 2 мм.

Величина прогиба призматических образцов с учетом возможной неравномерности прогиба на их концах определялась исходя из рис. 1.

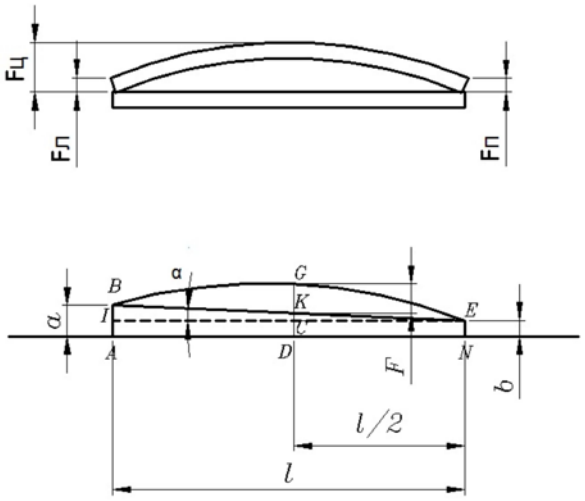


Рис. 1. Схема расчета прогиба призматического образца

Расчет прогиба F производился по следующим формулам:

- при $F_Л \rangle F_П$

$$F = F_Ц - \left(\frac{F_Л - F_П}{2} + F_П \right);$$

- при $F_Л \langle F_П$

$$F = F_Ц - \left(\frac{F_П - F_Л}{2} + F_Л \right),$$

где $F_Л$ и $F_П$ – прогибы на, соответственно, левом и правом концах образца, $F_Ц$ – прогиб в центре образца.

Величины прогиба $F_Л$, $F_П$, и $F_Ц$ измерялись с помощью индикаторной стойки в специальном приспособлении.

Для обеспечения достоверности определения уровня и знака остаточных напряжений измерение прогиба производилось последовательно после каждого этапа нанесения мультимодального покрытия (после дробеструйной обработки, после нанесения 2D (однослойного) мультимодального покрытия и после нанесения 3D (двухслойного) мультимодального покрытия). Прогиб считался положительным (+), если происходил в сторону, противоположную стороне нанесения покрытия (проведения обработки), возникающие напряжения в этом случае были напряжениями растяжения. Если образец прогибался в сторону, на которую было нанесено покрытие, прогиб считался отрицательным (-), а возникающие остаточные напряжения – напряжениями сжатия.

На рис. 2 представлены результаты определения относительной величины и знака остаточных напряжений на всех этапах нанесения 3D мультимодального покрытия, а также двухслойных однородных покрытий из сплава ПГ-12Н-01 и бронзы ПГ-19М-01.

Из рис. 2 видно, что после дробеструйной обработки в поверхностном слое образцов формируются остаточные напряжения сжатия. После лазерной наплавки первого слоя всех испытывавшихся покрытий в образцах уже происходит образование остаточных напряжений растяжения. При наплавке вторых слоев покрытий наблюдается дальнейшее увеличение величины остаточных напряжений растяжения.

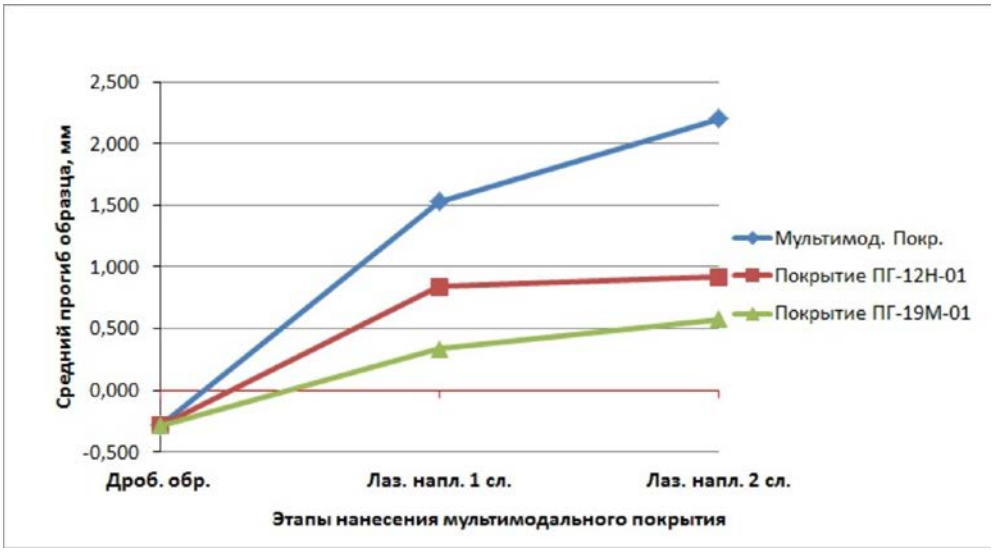


Рис. 2. Изменение среднего прогиба образцов на различных этапах нанесения двухслойных покрытий методом лазерной наплавки

На рис. 3 для сравнения показана величина прогиба призматических образцов после нанесения различных покрытий и после лазерной закалки.

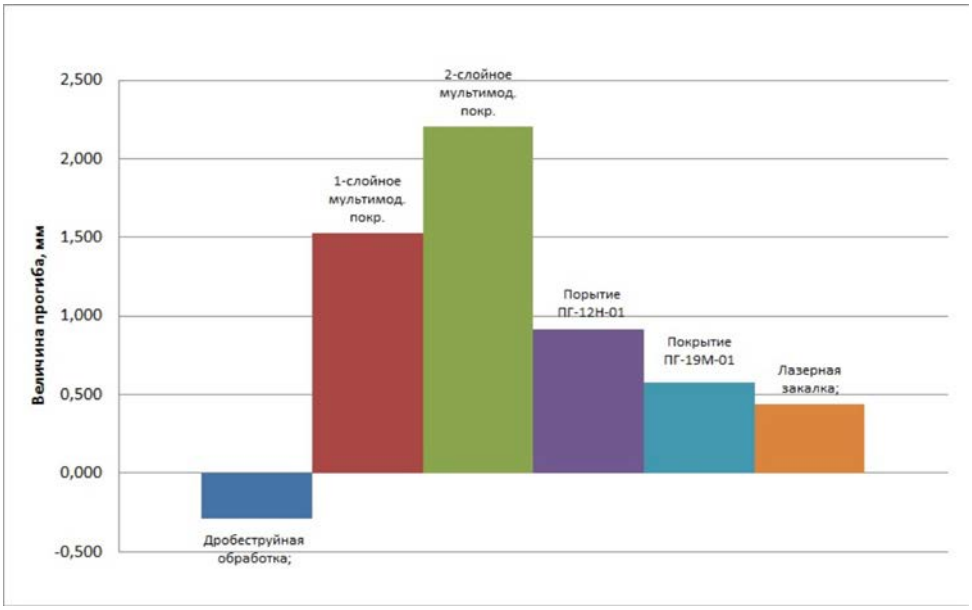


Рис. 3. Величина прогиба призматических образцов после нанесения различных покрытий и после лазерной закалки

Из рис. 3 видно, что после дробеструйной обработки наблюдается образование остаточных растяжений сжатия (прогиб отрицательный). При лазерной закалке и нанесении всех испытывавшихся покрытий образуются остаточные напряжения растяжения (прогиб положительный). Наиболее низкий уровень остаточных напряжений растяжения наблюдается при лазерной закалке. Наибольшая величина прогиба и, соответственно, уровня остаточных напряжений растяжений наблюдается для 3D (двухслойного) мультимодального покрытия. Несколько ниже положительный прогиб для 2D (однослойного) мультимодального покрытия. Величины прогиба для однородных покрытий из сплава ПГ-12Н-01 и бронзы ПГ-19М-01 значительно ниже.

Из-за высокого уровня остаточных напряжений растяжения для 3D и 2D мультимодальных покрытий особое значение имеет выбор режимов наплавки,

обеспечивающих минимальный уровень этих напряжений, а также обязательная дробеструйная обработка перед нанесением таких покрытий, несколько снижающая уровень напряжений растяжения.

На рис. 4. приведены зависимости прогиба призматических образцов от скорости наплавки 2D и 3D мультимодальных покрытий. Видно, что при увеличении скорости наплавки обоих покрытий величина прогиба призматических образцов увеличивается, следовательно, увеличиваются и остаточные напряжения растяжения. Такая зависимость величины прогиба от скорости наплавки мультимодальных покрытий объясняется тем, что при увеличении скорости наплавки мод мультимодального покрытия возрастает скорость охлаждения покрытия, а, следовательно, растет градиент температуры между покрытием и подложкой и величина остаточных напряжений растяжения.

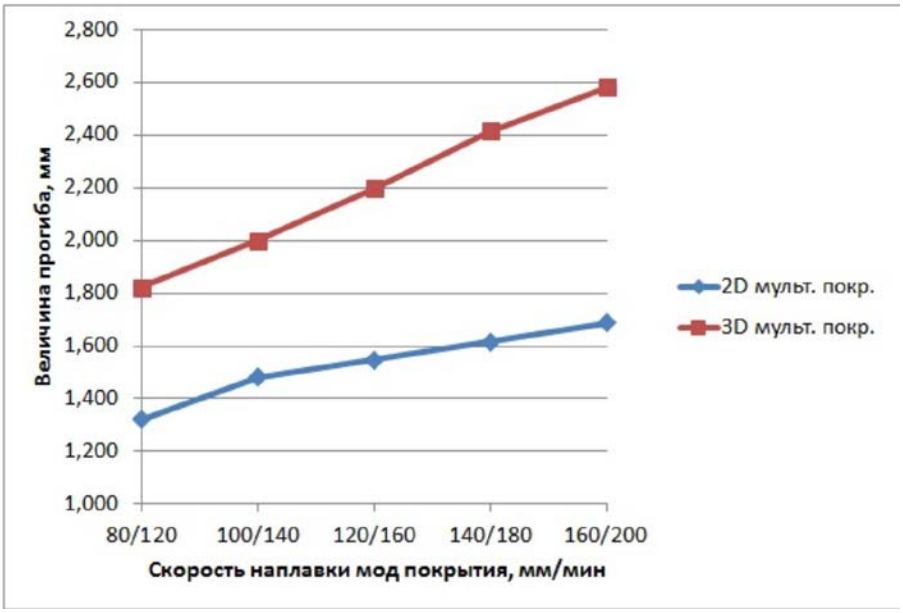


Рис. 4. Зависимости прогиба образцов с 2D и 3D мультимодальными покрытиями от скорости наплавки

Выводы

1. Предварительная дробеструйная обработка поверхности перед нанесением мультимодальных покрытий способствует некоторому уменьшению итоговых остаточных напряжений растяжения.

2. При лазерной наплавке мультимодальных покрытий уровень остаточных напряжений растяжения достаточно велик и превышает уровень остаточных напряжений при наплавке однородных покрытий.

3. Увеличение скорости наплавки мод мультимодальных покрытий приводит к увеличению уровня остаточных напряжений растяжения. Следовательно, можно ожидать, что наилучшие механические и эксплуатационные свойства мультимодальных покрытий могут быть получены в области низких скоростей лазерной наплавки.

Список литературы: 1. Биргер, И.А. Остаточные напряжения/И.А. Биргер. – М.: Машиностроение, 1963. – 232 с. **2.** Мрочек, Ж.А. Остаточные напряжения/ Ж.А. Мрочек, С.С. Макаревич, Л.М. Кожуро и др./ Под ред. С.С. Макаревича. – Минск: Технопринт, 2003. – 352 с. **3.** Подзей, А.В. Технологические остаточные напряжения/ А.В. Подзей, А.Н. Сумма, М.И. Евстигнеев/ Под. ред. А.В. Подзея. – М.: Машиностроение, 1973. – 216 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОПРОСА ЖЕСТКОСТИ СТЕБЛЯ СВЕРЛА

Дударев А.С.[1], Каменских Д.Н.[1], Подвинцев А.В.[2]
([1]ПНИПУ, г. Пермь, [2]АО «ПЗ «Машиностроитель», г. Пермь, Россия)
[1]Тел. +7(342)-239-15-08; E-mail: [1]dudarev@pstu.ru. [2]podvintsev_ktn@mail.ru

Abstract: *The article presents the results of a study of the rigidity of the drill stem. The rigidity of the drill must be considered when designing a cutting tool, especially for deep holes. Rigidity can be taken into account either by considering complex analytical formulas, or using modern methods based on CAD engineering packages. In this work, we used the SolidWorks package. The results are shown in the screenshots.*
Key words*: cutting tools, drill, auger, rigidity, curvature, flexure.*

В современном машиностроении широко производятся изделия различного назначения, имеющие глубокие отверстия. Ряд технологических проблем, возникающих при обработке глубоких отверстий, вызывает необходимость использования специального оборудования и оснастки. Особую трудность представляет сверление глубоких отверстий малого диаметра (2...10 мм) в труднообрабатываемых вязких материалах: жаропрочных сталях и сплавах, титановых сплавах и др. Низкие стабильность и производительность процесса обработки, частые поломки инструмента - характерные проблемы глубокого сверления отверстий малого диаметра.

Инструмент при глубоком сверлении является наиболее слабым звеном технологической системы, в значительной степени ограничивающим производительность процесса обработки. Сверла, применяемые дня глубокого сверления отверстий малого диаметра, характеризуются низкой прочностью и жесткостью стебля, обеспечивающего необходимую длину инструмента. Размеры и геометрические характеристики сечения стебля ограничены диаметром обрабатываемого отверстия, наличием стружечных канавок при наружном отводе стружки. При сложном профиле сечения стебля сверла определение характеристик жесткости и прочности стебля, максимально допустимых значений крутящего момента, осевой силы затруднено в связи с объемностью вычислений. В то же время данная задача имеет актуальное значение при проектировании инструмента, для назначения оптимальных режимов обработки, возможности ограничения действующих силовых факторов при глубоком сверлении с учетом их расчетных значений [1, 2].

Известно, что сверло – это режущий инструмент, с вращательным движением резания и осевым движением подачи, предназначенный для выполнения отверстий в слое материала. Спиральное сверло представляет собой цилиндрический стержень, рабочая часть которого снабжена двумя винтовыми спиральными канавками, предназначенными для отвода стружки и образования режущих элементов.

Рабочая часть, состоит из двух частей: режущая часть имеет две главные режущие кромки, образованные пересечением передних винтовых поверхностей канавок, по которым сходит стружка, с задними поверхностями, а также поперечную режущую кромку (перемычку), образованную пересечением задних поверхностей. И направляющая часть имеет две вспомогательные режущие кромки, образованные пересечением передних поверхностей с поверхностью ленточки (узкая полоска на цилиндрической поверхности сверла, расположенная вдоль винтовой канавки и обеспечивающая направление сверла при резании, а также уменьшение трения боковой поверхности о стенки отверстия).

При расчете напряжений от изгиба сверло рассматривается как консольная балка, нагруженная неуравновешенной радиальной силой P. Расчет напряжений изгиба в произвольной точке любого сечения можно производить по формуле [3]:

$$\sigma = \frac{yM\sin\alpha}{J_z} + \frac{zM\cos\alpha}{J_y} \quad (1)$$

где M – изгибающий момент в произвольном сечении В-В (рис. 1).

Момент определяется, как $M=P(l-x)$,

где P – равнодействующая радиальная сила;

l – длина вылета сверла;

x – расстояние от заделки до рассматриваемого сечения;

y, z – координаты рассматриваемой точки;

α – угол разворота рассматриваемого сечения относительно сечения A-A заделки;

J_y , J_z – главные моменты инерции сечения.

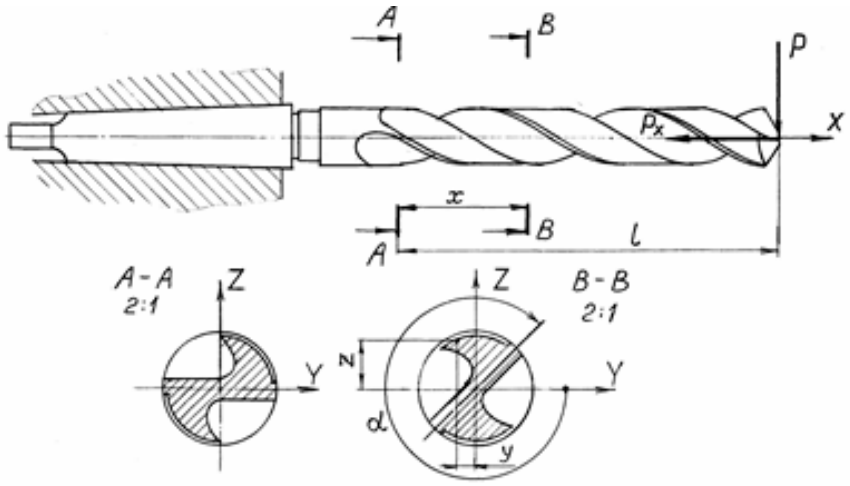


Рис. 1. Расчетная схема изгиба сверла

Продольный изгиб наблюдается при нагружении сверла осевой силой P_0, при этом критические напряжения равны:

$$\sigma_{кр} = \frac{P_0}{F}$$

Расчет сверл на продольный изгиб производится по зависимости:

$$P_{кр} = \frac{2EJ_{\min}\pi^2}{l^2(1 + J_{\min} / J_{\max})}$$

где E – модуль упругости при растяжении;

J_{min} , J_{max} – наибольший и наименьший моменты инерции сечения сверла.

Не смотря на то, что по своим конструктивным особенностям спиральное сверло известно уже достаточно давно, расчет напряжений изгиба по формуле (1) не точный, так как сверло представляет собой сложное тело винтообразной формы со множеством параметров.

При этом отдельные конструктивные элементы, например угол наклона винтовой стружечной канавки - ω, угол в плане - 2φ, спиральных сверл и рациональные взаимосвязи между ними могут в значительной степени повлиять на их работоспособность [4, 5]. Спиральная стружечная канавка обычно выполняет две функции: является передней поверхностью главной режущей кромки и служит каналом для отвода стружки из зоны резания. Форма и размеры спиральной стружечной канавки, а также поперечное сечение спирального сверла должны обеспечивать достаточную прочность и жесткость режущего инструмента, но, несмотря на это, спиральное сверло, имеет недостатки, среди которых: недостаточная надежность, низкая прочности, малая жесткость, невысокая

производительность [4, 5].

Работы по изучению прочности спиральных сверл с учетом их геометрических характеристик была начаты в начале XX века [6], но из-за отсутствия соответствующего математического аппарата не приобрели широкого распространения.

Зависимость (1) не учитывает движение стружки по стружечным канавкам спирального сверла, которое накладывает дополнительную нагрузку на рабочую часть инструмента, поэтому применение формулы (1) ограничено.

Для восполнения упущения, проведем оценку жесткости сверла с помощью пакета инженерного анализа SolidWorks. Для этого построили трехмерные модели свёрл диаметром 10 мм с разным наклоном винтовых канавок, остальные параметры были одинаковыми по ГОСТ 10903-77.

Далее сверла нагрузили, осевой нагрузкой в отдельности и при совместном ее действии на сверло с крутящей нагрузкой (рис. 2). Затем запустили программу расчета эпюр (рис. 3, 4) деформации, для оценки жесткости.

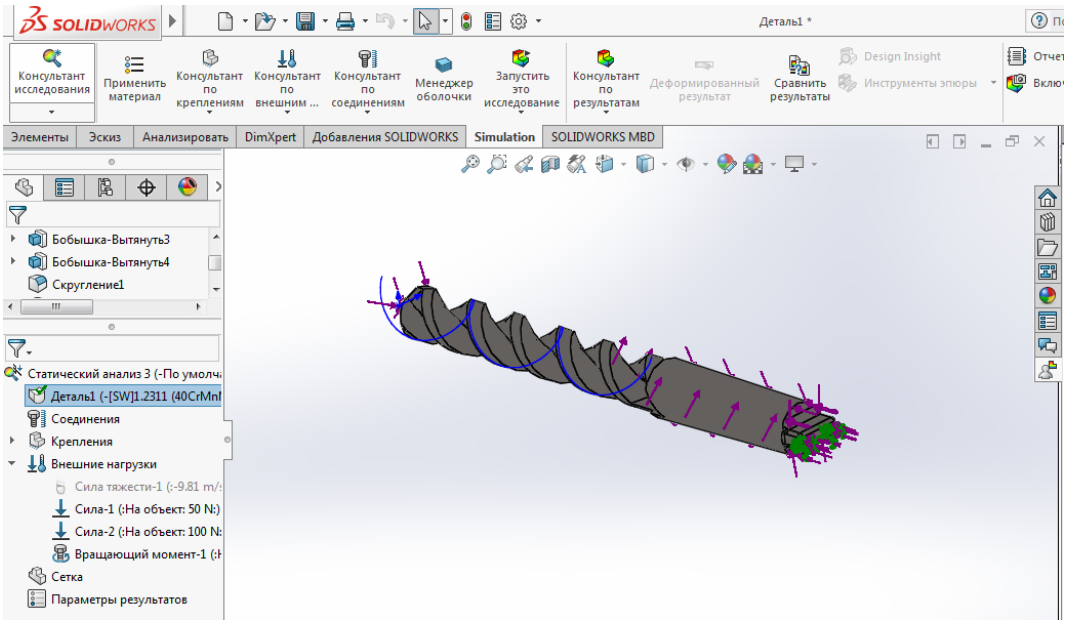


Рис. 2. Приложение нагрузки на сверло

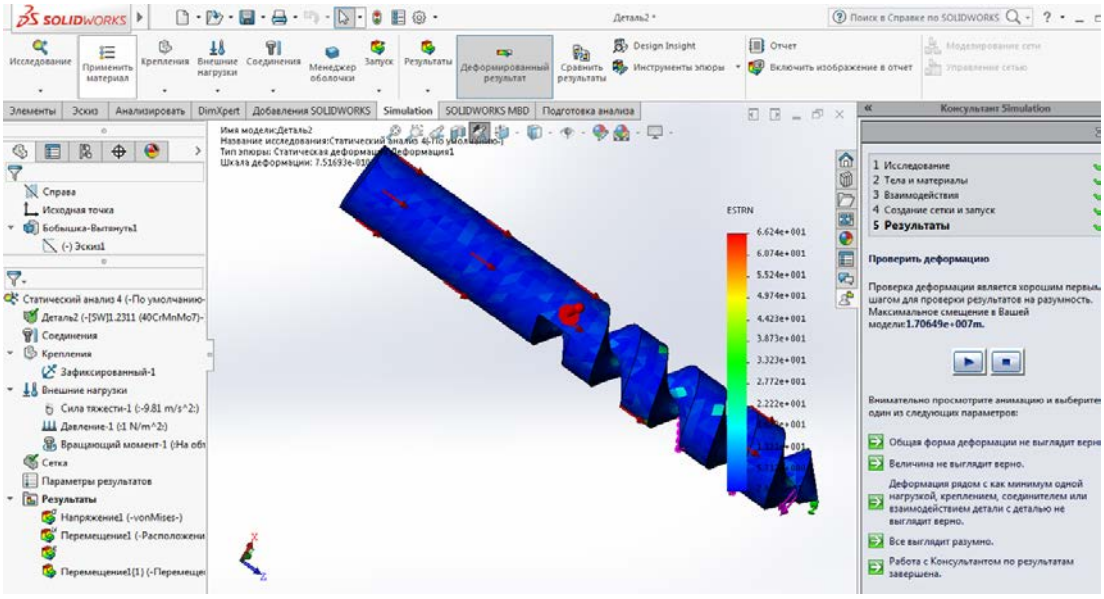


Рис. 3. Расчетные эпюры жесткости сверла

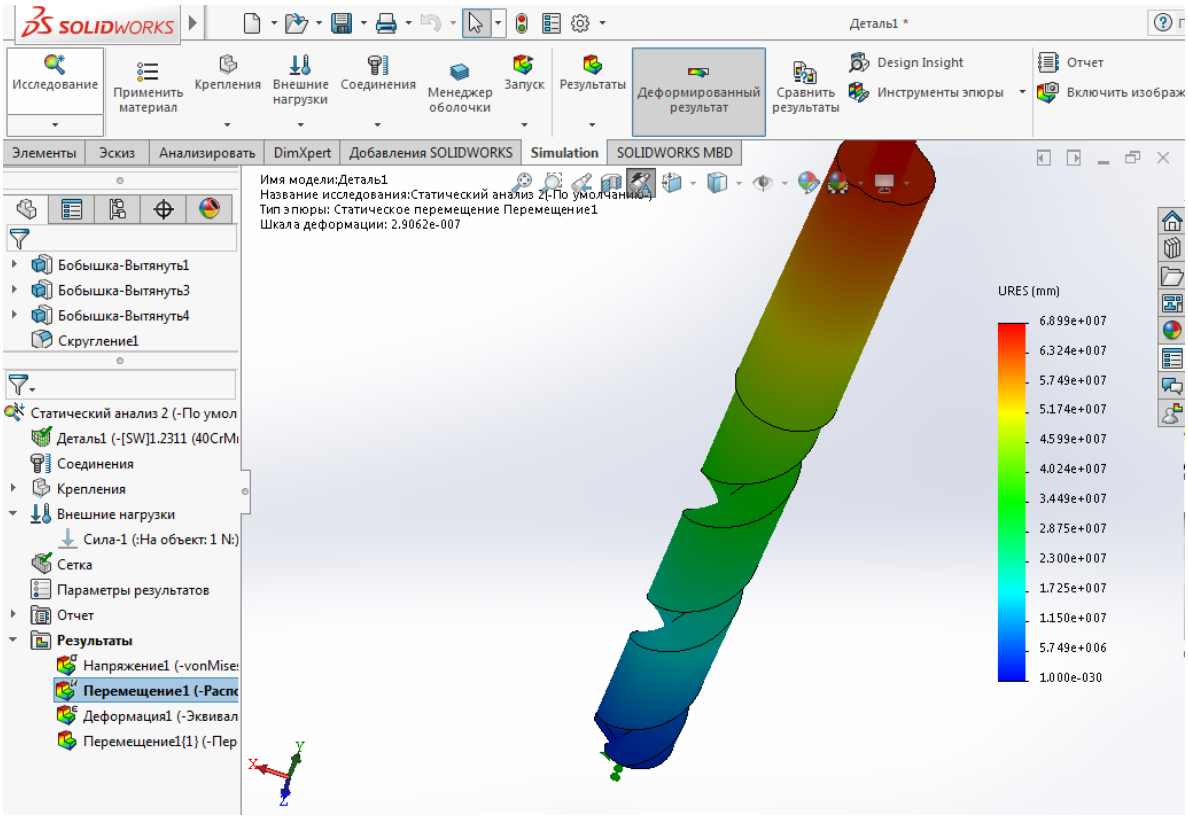


Рис. 4. Расчетные эпюры жесткости сверла

Было замечено, что прочность и жесткость стебля зависит от формы сверла. Что осевая нагрузка в отдельности и при совместном ее действии на сверло с крутящей нагрузкой не влияет существенно на прочность сверл диаметром 10 мм, тогда как изменение наклона винтовой канавки ω приводит к заметному изменению прочности и жесткости спирального сверла.

Список литературы: 1. Обработка глубоких отверстий / Н.Ф. Уткин, Ю.И. Кижняев, С.К. Плужников и др.; под общ. ред. Н.Ф. Уткин. – Л.: Машиностроение, 1998. - 269 с. **2.** Копейкин Е.А. Повышение прочности инструмента для глубокого вибрационного сверления отверстий малого диаметра/дис. канд. техн. н-к, М.: МГТУ «Станкин», 2003. - 26 с. **3.** Резание материалов. Режущий инструмент. В 2 ч. Часть 1: учебник для СПО /под общ. ред. Н. А. Чемборисова. — М.: Издательство Юрайт, 2017. - 263 с. **4.** Родин П.Р. Металлорежущие инструменты. – Киев: «Вища школа», 1974. – 400 с. **5.** Родин П.Р. Основы проектирования режущих инструментов. – Киев: «Вища школа», 1990 – 424 с. **6.** Александров А.Я., Алексеев К.В., Дитман А.О. и др. Исследование напряжений и деформаций в спиральных сверлах // Прогрессивные конструкции сверл и их рациональная эксплуатация. – М., 1974. - 39 с.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ УПРУГИХ КОНСТАНТ ЛАМЕ НА ОСНОВЕ НОВОГО КРИТЕРИЯ

Дуйшеналиев Т.Б., Хроматов В.Е., Щугорев В.Н. *(НИУ«МЭИ», г. Москва, Россия)*
Тел.: +7 916 498 6250; E-mail: DuyshenaliyevT@mpei.ru

Abstract: *The equation (criterion) linking the load with the axial and annular deformations is obtained by integrating the axial motion equation. The generalized Hooke's law and boundary conditions on the base and lateral surface of a cylindrical sample were used. This equation with the same values of the Lame constants describes well the experimental data at all levels of deformation.*

Key words: *load, diagram, axial and annular deformations, the generalized Hooke's law, Lame's constants, Young's modulus, Poisson's ratio, experimental data.*

Обобщенный закон Гука

Обобщенный закон Гука выведен теоретически из современного представления о строении тел, а также из общих энергетических позиций. М.Борн и Хуань Кунь [1] в 1958 г. вывели соотношения:

$$\sigma_{ij} = c_{ijkl}\varepsilon_{kl}, \tag{1}$$

где σ_{ij} - компоненты тензора напряжения, ε_{ij} -компоненты тензора деформации, c_{ijkl} - константы, представляют собой тензор четвертого порядка, состоящий из 81 элемента.

Симметричность тензоров деформаций и напряжений позволяет сократить число независимых констант до 36. Для изотропного тела число независимых констант равно двум [2]. К такому же виду зависимости можно прийти и из термодинамики. Соотношения Дюгамеля - Неймана, а также соотношения, полученные из потенциала Гиббса и функций состояний внутренней энергии, превращаются к виду (1) в случае изотермических процессов [2].

В прямоугольной декартовой системе координат для изотропных тел, находящихся в изотермическом состоянии, обобщенный закон Гука [2, 5] имеет вид:

$$\sigma_{ij} = \lambda\delta_{ij}\varepsilon_{kk} + 2\mu\varepsilon_{ij}, \tag{2}$$

$$\text{или} \quad \varepsilon_{ij} = -\frac{\nu}{E}\delta_{ij}\sigma_{kk} + \frac{1+\nu}{E}\sigma_{ij}, \tag{3}$$

где δ_{ij} - символ Кронекера, λ, μ - константы Ламе, E - модуль Юнга, ν - коэффициент Пуассона. Соотношения (2) и (3) взаимно обратимы: разрешая (2) относительно ε_{ij}, приходим к (3). При этом:

$$\begin{aligned} \nu &= \frac{\lambda}{2(\lambda+\mu)} \\ E &= \frac{\mu(3\lambda+2\mu)}{\lambda+\mu} \end{aligned}. \tag{4}$$

Разрешая же соотношения (3) относительно σ_{ij} приходим к соотношениям (2). В этом случае:

$$\begin{aligned} \lambda &= \frac{E\nu}{(1+\nu)(1-2\nu)} \\ \mu &= \frac{E}{2(1+\nu)} \end{aligned}. \tag{5}$$

Соотношения (4) следуют из соотношений (5), и наоборот.

В цилиндрической системе координат r, φ, z соотношения обобщенного закона Гука записываются в виде (6). Зависимости (6) можно записать и в виде (7)

$$\varepsilon_r = \frac{1}{E}(\sigma_r - \nu(\sigma_\varphi + \sigma_z))$$
$$\varepsilon_\varphi = \frac{1}{E}(\sigma_\varphi - \nu(\sigma_z + \sigma_r))$$
$$\varepsilon_z = \frac{1}{E}(\sigma_z - \nu(\sigma_r + \sigma_\varphi))$$
$$\varepsilon_{r\varphi} = \frac{1+\nu}{E}\sigma_{r\varphi}$$
$$\varepsilon_{\varphi z} = \frac{1+\nu}{E}\sigma_{\varphi z}$$
$$\varepsilon_{zr} = \frac{1+\nu}{E}\sigma_{zr} \qquad (6)$$

$$\sigma_r = (\lambda+2\mu)\varepsilon_r + \lambda(\varepsilon_\varphi + \varepsilon_z)$$
$$\sigma_r = (\lambda+2\mu)\varepsilon_r + \lambda(\varepsilon_\varphi + \varepsilon_z)$$
$$\sigma_r = (\lambda+2\mu)\varepsilon_r + \lambda(\varepsilon_\varphi + \varepsilon_z) \qquad (7)$$
$$\sigma_{r\varphi} = 2\mu\varepsilon_{r\varphi}$$
$$\sigma_{\varphi z} = 2\mu\varepsilon_{\varphi z}$$
$$\sigma_{zr} = 2\mu\varepsilon_{zr}$$

Непосредственная опытная проверка закона (1) невозможна, ибо ε_{ij} ,σ_{ij} не измеряемы ни в одной точке внутри тела, а на поверхности тела измеряются не все компоненты деформации ε_{ij} , а компоненты напряжения σ_{ij} и здесь не измеряемы.

Обобщенный закон Гука ныне проверяется по следующим соотношениям [2, 7, 8]:

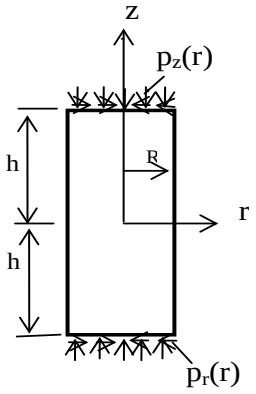


Рис. 1. Осесимметричное сжатие цилиндрического образца

$$\sigma_r(r,z) = 0, \quad \sigma_{rz}(r,z) = 0, \quad \sigma_\varphi(r,z) = 0, \quad \sigma_z(r,z) = \frac{P}{\pi R^2}. \quad (8)$$

Из этого решения следует обычный критерий:

$$\varepsilon_r(r,z) = -\frac{\nu}{E}\frac{P}{\pi R^2}, \quad \varepsilon_\varphi(r,z) = -\frac{\nu}{E}\frac{P}{\pi R^2}, \quad \varepsilon_z(r,z) = \frac{1}{E}\frac{P}{\pi R^2}. \quad (9)$$

Соотношения (8), (9) получены из решения краевой задачи о равновесии цилиндра, граничные условия на основаниях которого (рис. 1), упрощены на основе суженого и общего принципов Сен-Венана.

На основе критерия (9) определение констант проводится по формулам [7, 8]:

$$E = \frac{P}{\pi R^2 \cdot \varepsilon_z}, \quad \nu = -\frac{\varepsilon_\varphi}{\varepsilon_z}, \qquad (10)$$

а отклонение опытных точек от прямых линий (9) принимается как отклонение от обобщенного закона Гука.

Закон (6) превращается в соотношения (9) принципом Сен-Венана. Если отречься от этого принципа, то соотношения (9) исчезают. Как известно, общий принцип Сен-Венана не имеет теоретического доказательства [8]. Неоднократные попытки не увенчивались успехом. Имея в виду это, уравнения (9) следует называть соотношениями Гука – Сен-Венана.

Отклонение опытных точек от соотношений (9) должно обсуждаться как отклонение от соотношений Гука – Сен-Венана, а не как отклонение от обобщенного закона Гука. Не делая такого различия, механика деформируемого тела обрекла себя на вечный поиск своего основного закона в виде одномерной зависимости $\sigma_z = f(\varepsilon_z)$.

Новый критерий для проверки обобщенного закона Гука [2, 5]

Пусть $u(r,z,t)$, $w(r,z,t)$ - функции радиального и осевого перемещений. Проинтегрируем уравнения осевого движения по верхней половине испытуемого образца (рис. 1):

$$\int_0^R\int_0^{2\pi}\int_0^h \left(\frac{\partial\sigma_{zr}}{\partial r} + \frac{\partial\sigma_z}{\partial z} + \frac{\sigma_{zr}}{r}\right) r dr d\varphi \, dz = \int_0^R\int_0^{2\pi}\int_0^h \rho\frac{\partial^2 w}{\partial t^2} r dr d\varphi dz \ . \qquad (11)$$

Интегрирование приводит:

$$P(t) = 2\pi\int_0^R \sigma_z(r,0,t)dr + \int_0^R\int_0^{2\pi}\int_0^h \rho\frac{\partial^2 w}{\partial t^2} r dr d\varphi dz . \quad (12)$$

По обобщенному закону Гука осевое напряжение определяется как:

$$\sigma_z(r,0,t) = \lambda(\frac{\partial u(r,0,t)}{\partial r} + \frac{u(r,0,t)}{r}) + (\lambda + 2\mu)\frac{\partial w(r,0,t)}{\partial z} . \quad (13)$$

Подставив это в предыдущее, приходим:

$$P(t) = \pi R^2(\frac{\lambda(\lambda+2\mu)}{R^2}\int_0^R \frac{\partial w(r,0,t)}{\partial z} r dr + 2\lambda\frac{u(R,0,t)}{R}) + \int_0^R\int_0^{2\pi}\int_0^h \rho\frac{\partial^2 w}{\partial t^2} r dr d\varphi dz . \quad (14)$$

Из-за симметрии нагрузки: $w(r, 0, t)=0$. По соображениям непрерывности, и при значениях z, близких к нулю, зависимость этой функции от r должна быть очень слабой, что позволяет нам сделать приближение:

$$\frac{\partial w(r,0,t)}{\partial z} = \frac{\partial w(R,0,t)}{\partial z} = \varepsilon_z(R,0,t) . \quad (15)$$

Теперь предыдущее выражение приводится к виду:

$$\varepsilon_z(R,0,t) = \frac{1}{\lambda+2\mu}(\frac{P(t)}{\pi R^2} - 2\lambda\varepsilon_\varphi(R,0,t)) - \frac{1}{(\lambda+2\mu)\pi R^2}\int_0^R\int_0^{2\pi}\int_0^h \rho\frac{\partial^2 w}{\partial t^2} r dr d\varphi dz . \quad (16)$$

Величина последнего слагаемого во много раз меньше величин деформаций. Ввиду этого, последнее выражение, без ущемления его точности, можно представить в виде [2, 5]:

$$\varepsilon_z(R,0,t) = \frac{1}{\lambda+2\mu}(\frac{P(t)}{\pi R^2} - 2\lambda\varepsilon_\varphi(R,0,t)) . \quad (17)$$

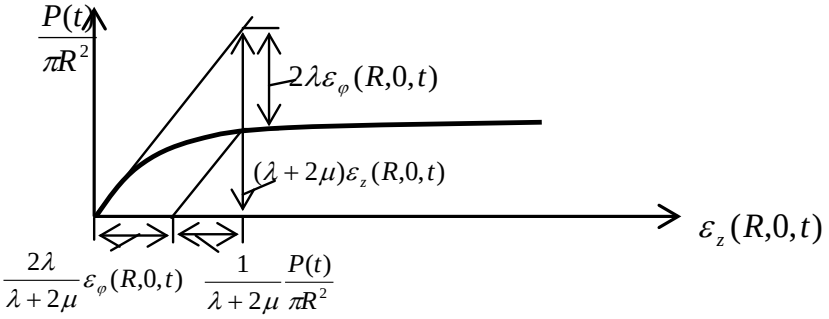


Рис. 2. Новое толкование диаграмм «нагрузка-деформация». Угловой коэффициент наклонных прямых линий равен $\lambda + 2\mu$

В этом уравнении λ, μ – константы Ламе.

Уравнение (17) можно рассматривать как критерий для проверки состоятельности обобщенного закона Гука [2]. Этот критерий дает новое толкование диаграмме нагрузка-деформация (рис. 2). Оно, как видим, радикально отличается от существующего толкования.

Определение упругих констант Ламе

Основными видами испытаний материалов являются осевое растяжение и сжатие цилиндрических образцов. В этих опытах обычно измеряются величины

$$P(t_i),\ \varepsilon_\varphi(R,0,t_i),\ \varepsilon_z(R,0,t_i),\ \ i = 1,2,...,n \quad (18)$$

где R - радиус цилиндра, n - количество измерений, а $P(t_i)$ - вся осевая нагрузка, $\varepsilon_\varphi(R,0,t_i)$, $\varepsilon_z(R,0,t_i)$ – кольцевая, осевая деформации контура центрального поперечного сечения, измеренные в момент времени t_i.

Для составления программы в системе MathCAD опытные данные напишем в виде трех векторов

$$p = \left(\frac{P(t_1)}{\pi R^2} \quad \frac{P(t_2)}{\pi R^2} \quad \ldots \quad \frac{P(t_n)}{\pi R^2} \right)$$
$$\varepsilon\varphi = \left(\varepsilon_\varphi(t_1) \quad \varepsilon_\varphi(t_2) \quad \ldots \quad \varepsilon_\varphi(t_n) \right) \tag{19}$$
$$\varepsilon z = \left(\varepsilon_z(t_1) \quad \varepsilon_z(t_2) \quad \ldots \quad \varepsilon_z(t_n) \right)$$

Уравнение диаграмм нагрузка-деформация в этих обозначениях напишем в виде

$$p_i = 2 \cdot \lambda \cdot \varepsilon\varphi_i + (\lambda + 2 \cdot \mu) \cdot \varepsilon z_i, \tag{20}$$

где индекс $i = 1, 2, ..., n$, (n - число элементов вектора p).

Константы определим методом наименьших квадратов. Отклонение опытных данных от уравнения (20) представим в виде:

$$\delta_i = 2 \cdot \lambda \cdot \varepsilon\varphi_i + (\lambda + 2 \cdot \mu) \cdot \varepsilon z_i - p_i .$$

Сумма квадратов отклонений:

$$\delta_i \cdot \delta_i = (2 \cdot \lambda \cdot \varepsilon\varphi_i + (\lambda + 2 \cdot \mu) \cdot \varepsilon z_i - p_i) \cdot (2 \cdot \lambda \cdot \varepsilon\varphi_i + (\lambda + 2 \cdot \mu) \cdot \varepsilon z_i - p_i) .$$

В этом выражении и далее, необходимо проводить обычное суммирование по немым индексам. Константы должны иметь такие величины, при которых сумма квадратов будет минимальной. Это имеет место тогда, когда частные производные по константам равны нулю:

$$\frac{\partial(\delta_i \cdot \delta_i)}{\partial(2 \cdot \lambda)} = (2 \cdot \lambda \cdot \varepsilon\varphi_i + (\lambda + 2 \cdot \mu) \cdot \varepsilon z_i - p_i) \cdot \varepsilon\varphi_i = 0,$$
$$\frac{\partial(\delta_i \cdot \delta_i)}{\partial(\lambda + 2 \cdot \mu)} = (2 \cdot \lambda \cdot \varepsilon\varphi_i + (\lambda + 2 \cdot \mu) \cdot \varepsilon z_i - p_i) \cdot \varepsilon z_i = 0 .$$

Напишем эти уравнения в виде:

$$\begin{aligned} \varepsilon\varphi_i \cdot \varepsilon\varphi_i \cdot 2 \cdot \lambda \quad + \varepsilon z_i \cdot \varepsilon\varphi_i \cdot (\lambda + 2 \cdot \mu) &= p_i \cdot \varepsilon\varphi_i \\ \varepsilon\varphi_i \cdot \varepsilon z_i \cdot 2 \cdot \lambda \quad + \varepsilon z_i \cdot \varepsilon z_i \cdot (\lambda + 2 \cdot \mu) &= p_i \cdot \varepsilon z_i \end{aligned} .$$

Здесь для определения двух констант имеются два уравнения. Эти уравнения в матричной форме имеют вид:

$$\begin{pmatrix} \varepsilon\varphi_i \cdot \varepsilon z_i & \varepsilon z_i \cdot \varepsilon\varphi_i \\ \varepsilon\varphi_i \cdot \varepsilon z_i & \varepsilon z_i \cdot \varepsilon z_i \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} 2 \cdot \lambda \\ \lambda + 2 \cdot \mu \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} p_i \cdot \varepsilon\varphi_i \\ p_i \cdot \varepsilon z_i \end{pmatrix} .$$

Умножение обеих частей этого уравнения на обратную матрицу

$$\begin{pmatrix} \varepsilon\varphi_i \cdot \varepsilon z_i & \varepsilon z_i \cdot \varepsilon\varphi_i \\ \varepsilon\varphi_i \cdot \varepsilon z_i & \varepsilon z_i \cdot \varepsilon z_i \end{pmatrix}^{-1}$$

определяет искомые константы. В системе MathCad такое определение можно проводить следующими операторами:

$$\varepsilon = stack(\varepsilon_\varphi, \varepsilon_z), \quad c = (\varepsilon \cdot \varepsilon^T)^{-1} \cdot \varepsilon \cdot p^T,$$
$$\lambda = \frac{c_0}{2}, \quad \mu = \frac{c_1 - \lambda}{2}, \quad E = \frac{\mu \cdot (3 \cdot \lambda + 2 \cdot \mu)}{\lambda + \mu}, \quad \nu = \frac{\lambda}{2 \cdot (\lambda + \mu)} \tag{21}$$

$$\varepsilon = stack(\varepsilon_\varphi, \varepsilon_z), \quad c = (\varepsilon \cdot \varepsilon^T)^{-1} \cdot \varepsilon \cdot p^T,$$

$$\lambda = \frac{c_0}{2}, \quad \mu = \frac{c_1 - \lambda}{2}, \quad E = \frac{\mu(3\lambda + 2\mu)}{\lambda + \mu}, \quad \nu = \frac{\lambda}{2(\lambda + \mu)} . \tag{22}$$

Из граничного условия на боковой поверхности цилиндра теперь можно определить радиальную деформацию в виде:

$$\varepsilon_r(R,0,t) = \frac{1}{\lambda + 2\mu} (\sigma_r(R,0,t) - \lambda(\varepsilon_\varphi(R,0,t) + \varepsilon_z(R,0,t))) . \tag{23}$$

Далее вычисляются кольцевое и осевое напряжения в точках контура поперечного сечения:

$$\sigma_\varphi(R,0,t) = \lambda\varepsilon_r(R,0,t) + (\lambda+2\mu)\varepsilon_\varphi(R,0,t)) + \lambda\varepsilon_z(R,0,t),$$
$$\sigma_z(R,0,t) = \lambda\varepsilon_r(R,0,t) + \lambda\varepsilon_\varphi(R,0,t)) + (\lambda+2\mu)\varepsilon_z(R,0,t). \quad (24)$$

Обратимся к опытным данным (таблицы 1 и 2), которые широко используются в учебной и специальной литературе.

Таблица 1. Сталь 30, размерность – кгс/мм^2 (опыты А.М.Жукова) [6]: λ = 4.309·10^4; μ = 1.38·10^3; E = 4.096·10^3; v = 0.484

$p_i \cdot 10^{-3}$	$\varepsilon r_i \cdot 10^3$	$\varepsilon\phi_i \cdot 10^3$	$\varepsilon z_i \cdot 10^3$	$\varepsilon zc_i \cdot 10^3$	c_i	σr_i	$\sigma\phi_i$	σz_i
0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.01	-0.314	-0.136	0.47	0.474	-1	0	0.491	2.163
0.015	-0.467	-0.203	0.7	0.709	-2	0	0.729	3.22
0.02	-0.627	-0.273	0.94	0.949	-1	0	0.976	4.323
0.025	-0.874	-0.38	1.31	1.26	3	0	1.363	6.026
0.03	-0.93	-0.42	1.41	1.444	-3	0	1.408	6.458
0.032	-1.068	-0.464	1.6	1.57	1	0	1.666	7.361
0.034	-2.819	-2.6	5.6	5.62	-1	0	0.606	23.231
0.036	-3.684	-3.6	7.52	7.543	-1	0	0.232	30.915
0.038	-4.962	-5.12	10.4	10.461	-1	0	-0.435	42.388
0.042	-7.124	-7.52	15.1	15.042	0	0	-1.093	61.321

Таблица 2. Алюминий, размерность – кгс/мм^2 (опыты А.М.Жукова) [6]:λ = 1.232·10^4; μ = 487.256; E = 1.443·10^3; v = 0.481

$p_i \cdot 10^{-3}$	$\varepsilon r_i \cdot 10^3$	$\varepsilon\phi_i \cdot 10^3$	$\varepsilon z_i \cdot 10^3$	$\varepsilon zc_i \cdot 10^3$	c_i	σr_i	$\sigma\phi_i$	σz_i
0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.003	-0.269	-0.13	0.42	0.467	-12	0	0.135	0.671
0.005	-0.403	-0.195	0.63	0.7	-12	0	0.203	1.007
0.006	-0.537	-0.26	0.84	0.933	-12	0	0.27	1.342
0.008	-0.964	-0.46	1.5	1.417	5	0	0.491	2.401
0.008	-1.019	-0.5	1.6	1.528	4	0	0.506	2.553
0.009	-1.909	-1.7	3.76	3.828	-2	0	0.204	5.525
0.011	-4.819	-5.2	10.4	10.427	-1	0	-0.371	14.831
0.012	-9.082	-10.4	20.2	20.178	0	0	-1.285	28.536

Сначала определим константы операторами (22). Подставляя эти константы в критерий (17), вычислим $\varepsilon_z(R,0,t)$ и сравним их с опытными данными. Ниже, на рисунках 2 и 3, приведены эти сравнения (напряжения в кгс/мм^2). Как видим, опытные (точки) и вычисленные значения (линии) очень хорошо совпадают на всем протяжении диаграммы. Такое же совпадение обнаруживается и для других материалов [2]. Отсюда следует, что обобщенный закон Гука описывает всю опытную диаграмму при одних и тех же величинах констант Ламе (см. таблицы 1, 2 и рисунки 2, 3)!

Построим далее на этих же рисунках диаграмму напряжение-деформация $(\varepsilon_z(R,0,t), \sigma_z(R,0,t))$. Как видим, эти диаграммы не имеют даже отдаленного сходства с диаграммами нагрузка-деформация $(\varepsilon_z(R,0,t), \frac{P}{\pi R^2})$. Обратим внимание на следующее обстоятельство. Вычисления по уравнениям (24) показывают, что напряженное состояние, вообще говоря, не одноосно $(\sigma_\varphi(R,0,t) \neq 0)$ за исключением одной точки диаграм-

мы нагрузка-деформация. Эта точка расположена на пересечении диаграмм нагрузка-деформация и напряжение-деформация [2]. Здесь:

$$\sigma_\varphi(R,0,t)=0,\quad \sigma_z(R,0,t)=\frac{P(t)}{\pi R^2},\quad \varepsilon_r(R,0,t)=\varepsilon_\varphi(R,0,t).$$

Соотношения Гука – Сен-Венана имеют силу только в этой точке диаграммы. Тут вычисления по уравнениям (10) дают те величины констант, которые определены ранее методом наименьших квадратов операторами (22).

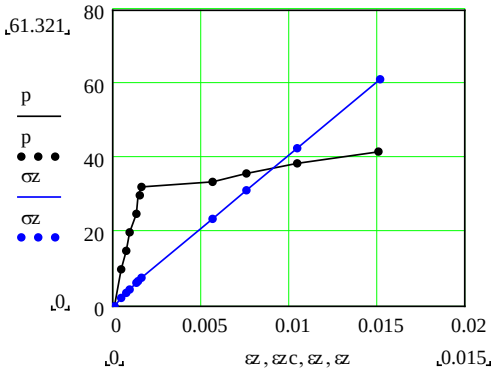


Рис. 2. Диаграммы нагрузка-деформация (кривая черного цвета) и напряжение-деформация (прямая линия синего цвета). Сплошные линии проведены по опытным данным, точки соответствуют расчетным величинам

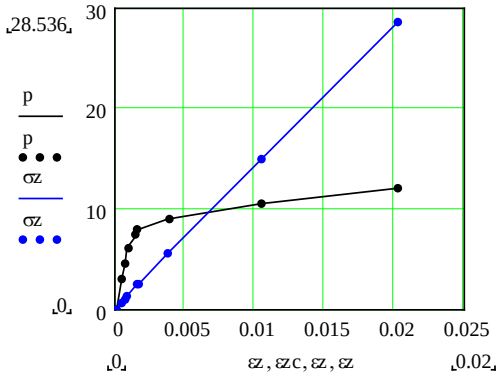


Рис. 3. Диаграммы нагрузка-деформация (кривая линия черная цвета) и напряжение-деформация (прямая линия синего цвета). Сплошные линии проведены по опытным данным, точки соответствуют расчетным величинам

Заключение

Нелинейность диаграмм нагрузка-деформация должна обсуждаться как отклонения от соотношений Гука – Сен-Венана (9), а не от обобщенного закона Гука (6, 7). Обобщенный закон Гука, освобожденный от бремени принципа Сен-Венана, как показано выше, прекрасно описывает поведение тела на всем протяжении диаграмм при одних и тех же величинах констант Ламе.

Список литературы: 1. Борн М., Хуань Кунь. Динамическая теория кристаллических решеток. – М.: ИЛ, 1958. – 488 с. **2.** Дуйшеналиев Т.Б. Неклассические решения механики деформируемого тела. – М.: Изд-во МЭИ, 2017. – 400 с. ISBN 978-5-7046-1840-9. **3.** Дуйшеналиев Т.Б., Мекенбаев Б.Т., Щугорев В.Н., Цой В.Э. Неклассическое толкование опытных диаграмм осевого растяжения (сжатия) цилиндрических образцов. Материалы 12 Всероссийского съезда по фундаментальным проблемам теоретической и прикладной механики. Т. 3. – Уфа, 2019. – С. 1178-1180. ISBN 978-5-7477-2019. **4.** Дуйшеналиев Т.Б., Хроматов В.Е., Щугорев В.Н. Описание условий разрушения материалов при высоких давлениях // Материалы XXVI Симпозиума «Динамические и технологические проблемы механики конструкций и сплошных сред» им. А.Г. Горшкова. Т.1. – М.: Изд-во МАИ (НИУ), 2020. – С. 105-107. ISBN 978-5-6043255-6-8. **5.** Жакыпбеков А.Б. Уравнение диаграммы нагрузка-деформация / А.Б. Жакыпбеков, Т.Б. Дуйшеналиев // Математический журнал, 2004. - Т. 4. - №3(13). – С. 27-41. **6.** Жуков А.М. О коэффициенте Пуассона в пластической области // Известия АН СССР, ОТН, 1954. - №12. **7.** Лурье А.И. Теория упругости / А.И. Лурье. – М.: Наука, 1970. – 939 с. **8.** Новацкий В. Теория упругости / В. Новацкий. – М.: Мир, 1975. – 872 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА УДАРНЫХ МАШИН

Дьяченко В.А., Полищук М. Н., Васильев А.К., Штрекер Д.С.
(СПбПУ Петра Великого, г. Санкт-Петербург, Россия)
Тел./Факс: +7 (812) 552-96-86; E-mail: alex_vasilev9@mail.ru

Abstract: *In the current paper the structures and designs of several types of developed shock machines are analyzed in details: single-shock machine, multiple-shock machine, machine with a pneumatic accelerator. Data on the development of a positional multi-motor pneumatic drive by the Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University are presented. The interface of the operation panel of the multiple shock machine is described according to operating modes, recording and processing the results of measuring the parameters of the shock pulse.*
Key words: *single-shock machine, multiple-shock machine, pneumatic accelerator, shock pulse.*

Введение. При принятии решений о запуске в производство, продаже или покупке изделий, а также и в других случаях окончательные выводы делают по результатам испытаний, которым специалисты придают большее значение, чем результатам теоретических исследований и расчетов. В инженерной практике испытания позволяют определить исходные данные для исследований, верифицировать расчет и получить достоверную информацию об изделии [1]. Наиболее же эффективным является сочетание теории и эксперимента.

В последнее время к традиционным областям применения испытательных машин, таким как оборона и безопасность, атомная энергетика, ракетно–космическая, авиационная, автомобильная и радиоэлектронная, добавились новые, связанные с производством потребительских товаров, а также техникой, работающей в экстремальных условиях [2]. Испытательное оборудование стало широко использоваться при моделировании транспортных нагрузок в грузовых и железнодорожных перевозках, при транспортировании в цеховых условиях, испытаниях упаковки: ящиков, контейнеров, бочек, канистр, коробок и т. п.

Принцип действия ударной машины (УМ) заключается в относительно длительном накоплении необходимой для воспроизведения удара энергии и последующем ее высвобождении в течение короткого промежутка времени [3]. Требуемую форму ударного импульса обеспечивают применением формообразующего устройства (формирователя).

Рынок отечественного ударного оборудования к 2020 г. оказался довольно ограничен: из известной и доступной техники можно отметить лишь копры К–200 и электромеханические стенды многократных ударов серии ВСТС–450/1000, ВСТС–750/1000. Копер К–200 [4] является аналогом машины, изготовленной в США более 50 лет назад, стенды серии ВСТС представляют собой модернизированные ударные машины Tira Shock 4110 [5] разработки компании Tira Gmbx (ГДР, 1980…1990 гг.), которые эксплуатируются в РФ в настоящее время, но давно сняты с производства компанией Tira Shock. Ни копер К–200, ни стенды ВСТС не соответствуют современным требованиям к технологии испытаний на ударное воздействие, поскольку устарели морально и имеют недостаточную функциональность.

С другой стороны, запросы промышленности, проблемы с приобретением дорогостоящей импортной техники и ее последующим сервисным обслуживанием, тем более в условиях нынешних ограничений, сделали разработку и создание современного отечественного ударного оборудования чрезвычайно актуальными. По этой причине коллектив ВШАиР СПбПУ занимается разработкой и исследованием ударных машин с применением современных решений в области мехатроники.

Машина одиночных ударов КСП5. Машина КСП5 является испытательной УМ косвенного действия, когда ударный импульс создается при взаимодействии движущегося ударного стола (УС) с установленным на нем изделием и наковальни, на которой размещен формирователь, определяющий вид и параметры импульса.

В состав УМ КСП5 (рис. 1) входит собственно УМ свободного падения, стойка управления, пульты управления, датчики и компрессор.

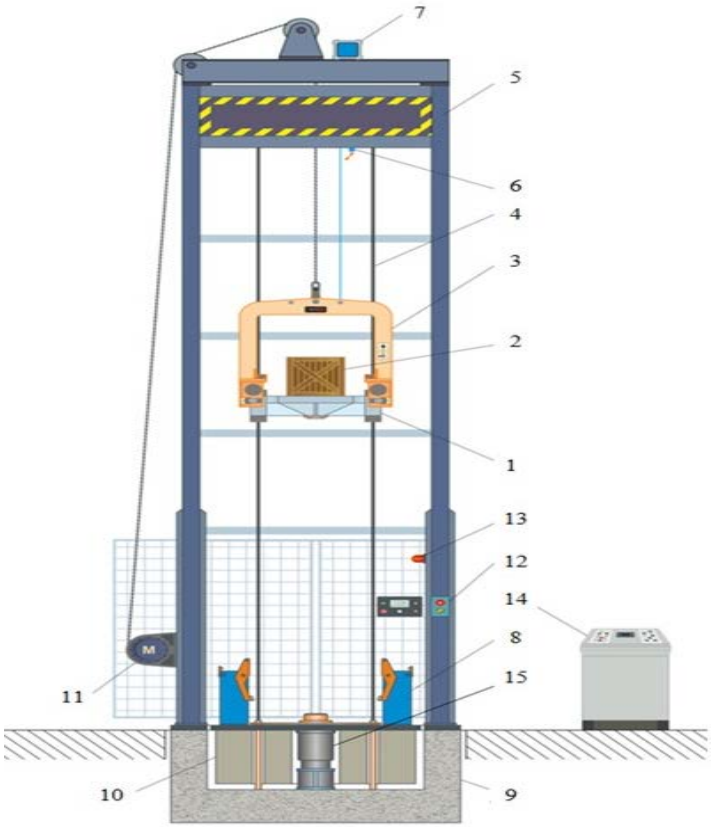


Рис. 1. Схема ударной машины КСП5: 1 – ударный стол; 2 – объект испытаний; 3 – сбрасыватель; 4 – направляющие; 5 – шахта; 6 – аварийный конечный выключатель; 7 – датчик высоты подъема; 8 – парковочное устройство; 9 – фундамент; 10 – инерционный блок; 11 – лебедка; 12 – вспомогательный пульт управления машиной; 13 – проблесковый маяк; 14 – стойка управления; 15 – пневмоцилиндр рукавного типа

Основными функциональными частями УМ являются: УС 1 для закрепления изделия с технологической оснасткой (объекта испытаний 2), сбрасыватель 3 стола, лебедка 11, датчик 7 измерения высоты подъема стола, инерционный блок (ИБ) 10, несущая металлоконструкция в виде шахты 5.

УС имеет сложную форму, синтезированную с помощью программных средств ANSYS по критерию удельной жесткости, изготовлен из специального легкого сплава с хорошими демпфирующими свойствами и снабжен стальными резьбовыми втулками – футорками, образующими на его поверхности сетку крепежных отверстий. На поверхности УС закреплен ударный акселерометр. Электрическая связь объекта испытаний и акселерометра с неподвижной аппаратурой осуществляется по гибкому кабелю.

Конструктивной особенностью УМ является использование активной виброизоляции – управляемой пневматической подвески ИБ, которая позволяет эффективно перевести кинетическую энергию падающего УС с изделием в потенциальную энергию сжатой пневматической пружины, а затем выпустить сжатый воздух в окружающую цеховую среду. Пневматическая подвеска УМ в какой–то степени аналогична широко используемой в настоящее время пневматической подвеске грузовых и легковых автомобилей.

Машины многократных ударов серии СМУ. Если УМ КСП5 относится к машинам одиночного удара, то машины серии СМУ являются универсальными: они позволяют воспроизводить как одиночные, так и многократные удары с заданной частотой. При заводских испытаниях требования по многократным ударам обычно сводятся к воспроизведению ускорений в диапазоне 3…200 g с длительностями 3…30 мс при частоте от 40 до 120 ударов в минуту.

Типовым законом изменения ускорения при многократных ударах является полусинусоидальный, общее число ударов колеблется от нескольких десятков и сотен до десятков тысяч, а продолжительность испытаний варьируется от получаса до нескольких рабочих смен. Структура стендов серии СМУ представлена на рис. 2.

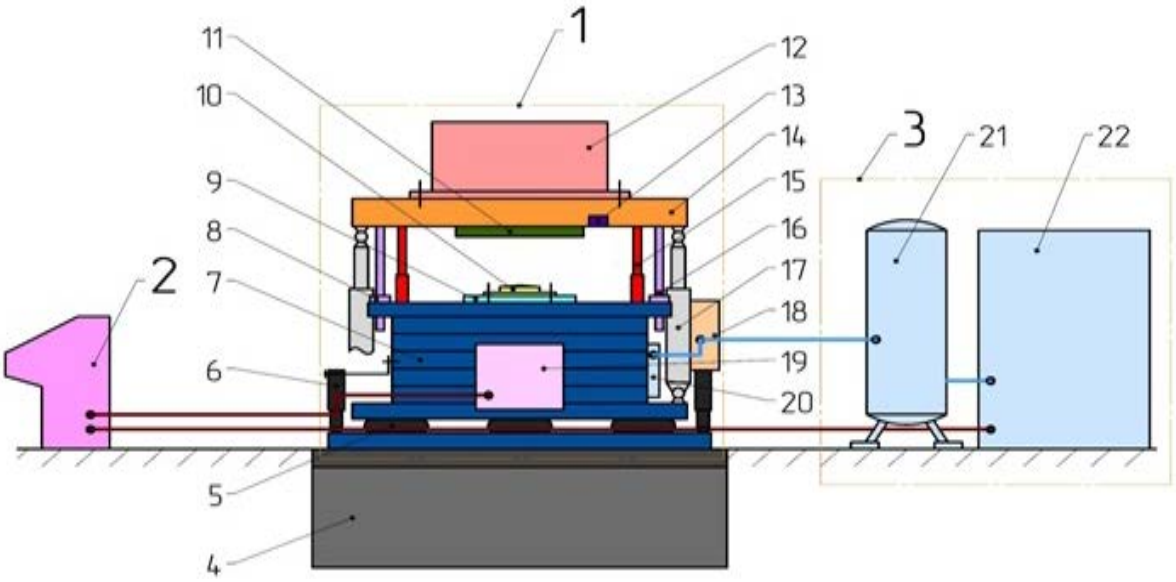


Рис. 2. Структура ударной машины СМУ1200: 1 – УМ; 2 – стойка управления; 3 – компрессор; 4 – фундамент; 5 – баллонный пневматический цилиндр; 6 – амортизатор; 7 – ИБ; 8 – втулка скольжения; 9 – наковальня; 10 – формирователь; 11 – боек; 12 – объект испытаний; 13 – ударный акселерометр; 14 – УС; 15 – парковочные стойки; 16 – направляющая стола; 17 – пневматический цилиндр; 18 – пневмоаппаратура привода; 19 – блок коммутации; 20 – пневматический блок; 21 – ресивер; 22 – компрессор

Основными элементами УМ серии СМУ являются собственно УМ 1, стойка управления 2 и компрессор 3. УМ, в свою очередь, состоит из УС 14, ИБ 7, четырех пневматических приводов УС 17 и ряда вспомогательных элементов.

Разработанные в СПбПУ УМ серии СМУ имеют пневматический привод, что обеспечивает широкие регулировочные характеристики и широкие диапазоны воспроизводимых параметров. Диапазон регулирования пиковых ударных ускорений составляет 1:100, а воспроизводимых длительностей – 1:20, а при одиночном ударе с ускорителем – 1:40. Простота задания параметров удара, удобство регулировок и широкие диапазоны воспроизводимых параметров выгодно отличает их от электромеханических ударных машин, которые в качестве приводного механизма используют рычажные или кулачковые устройства, главным недостатком которых является недостаточная скорость объекта испытаний перед ударом, сложность регулировок и настроек на режимы испытаний.

На практике пиковое ударное ускорение и длительность ударного импульса, коррелированы со скоростью объекта перед ударом, задаются формирователями – расходными элементами, прилагаемыми к УМ. Формирователи должны обладать определенными свойствами, которые наилучшим образом обеспечиваются такими материалами как фетр, войлок, резина, полиуретан и специальные полимеры. В УМ также используются стальные цилиндрические пружины или рессоры.

В УМ серии СМУ оригинальной является не только конструкция, но и программное обеспечение устройства управления, базирующееся на новом техническом решении [6]. Программа предоставляет удобный интерфейс оператору при задании требуемых режимов работы, записи и обработки результатов измерения параметров ударного импульса. На рис. 3 приведен вид окна программы в режиме одиночного удара для УМ модели СМУ1200.

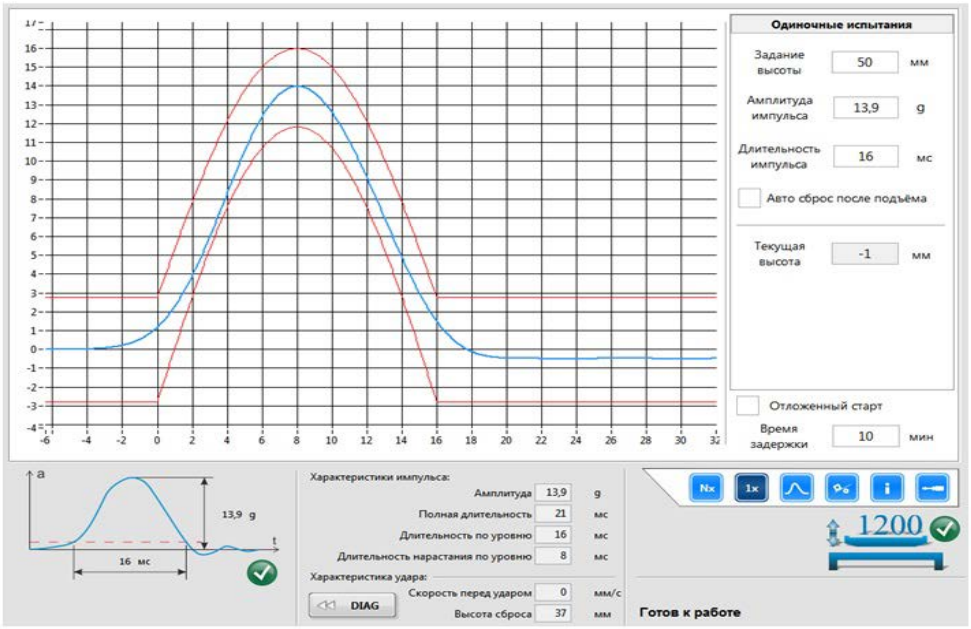


Рис. 3. Окно программы ударной машины СМУ1200 в режиме испытаний

Верхняя и нижняя кривые на центральном поле окна программы задают поле допуска на амплитуду и длительность ударного импульса согласно техническим условиям на испытания конкретного изделия. При каждом ударе на линии поля допуска накладывается кривая полученного при воспроизведении импульса. С помощью пневматического привода УС поднимается на нужную высоту, обеспечивающую требуемую скорость перед ударом. Алгоритм выхода УМ на заданную амплитуду и ее поддержания является адаптивным. В правом поле окна отображается задание на испытание, в нижнем поле – фактические характеристики ударного импульса и пиктограммы других возможных режимов: многократных ударов, анализа графиков, настроек, блокировок. Алгоритм управления подъемом УС реализован с помощью позиционного многодвигательного пневматического привода. В УМ обеспечено синхронное управление несколькими пневматическими двигателями, что необходимо для строго вертикального подъема ударного стола и его ускоренного или свободного падения на наковальню с набором формирователей.

Заключение. За последние несколько лет в СПбПУ разработано, изготовлено и передано на промышленные предприятия Санкт–Петербурга и РФ восемь испытательных машин различных типов. Заказчики отмечают их конкурентоспособность в сравнении с зарубежными аналогами. Проведен большой объем научных исследований, получено шесть патентов на изобретения, выполнено более двадцати выпускных работ студентов, готовится ряд кандидатских диссертаций.

Список литературы: 1. Челпанов И.Б. Автоматические технологические машины и оборудование. Испытания машин: Учеб. пособие. – СПб.: Изд-во Политех. ун-та, 2008. 296 с. **2.** Евстифеев М.И., Елисеев Д.П., Розенцвейн Д.В., Челпанов И.Б. Особенности испытаний микромеханических гироскопов на ударные воздействия // Гироскопия и навигация. 2011. № 3. С. 88–95. **3.** Попов А.Н., Полищук М.Н., Тимофеев А.Н. Испытательные машины. - Екатеринбург, Уральский рабочий. 2017. - 217 с. **4.** Орлов С.А., Копытов В.И., Мацыгорин А.И. Использование стендов типа К200 при ударных испытаниях бортовой аппаратуры космических аппаратов // Решетниковские чтения. 2018. Т. 1. С. 340-341. **5.** S.A. Orlov, K.A. Matveev, G.I. Rastorguev. Rationing and shock testing on-board equipment of spacecrafts, IOP Conf. Series: Journal of Physics: Conf. Series 894 (2017) 012131. **6.** Попов А.Н., Полищук М.Н., Пуленец Н.Е. Новый способ получения ударного ускорения при механических испытаниях // Современное машиностроение. Наука и образование. 2018. № 7. С. 783–796.

ИССЛЕДОВАНИЕ УРОВНЯ И АНИЗОТРОПИИ СВОЙСТВ ТОЛСТОЛИСТОВЫХ НИЗКОЛЕГИРОВАННЫХ СТАЛЕЙ

Егоров Н.Т., Крымов В.Н. (*ДонНТУ, г. Донецк, ДНР*)
Тел.: (062)301-08-72, E-mail: fm@fizmet.donntu.org

***Abstract**: The level of properties of sheets with thickness of 150 and 60 mm from steels of 09G2S and 16GS in longitudinal, transverse and Z-directions is investigated. The mechanical properties of the steels have been found to be extremely low in the sheet thickness direction. The tensile strength is 0.4-0.5 of the minimum rated value in the rolled stock plane, the relative elongation and contraction of area at fracturedo not exceed 8-13% (both), and the impact toughness is more than 2 times lower than the requirements of the current standards, which should be taken into account at all stages of manufacturing and operation of welded metal structures.*
***Key words:** Low alloy steel, mechanical properties, longitudinal, transverse, Z-directions.*

Механические свойства толстолистового проката в соответствии с действующими стандартами определяются, как правило, на поперечных и реже – на продольных образцах. В то же время при изготовлении сварных изделий, котлов и сосудов работающих под давлением (ГОСТ 5520) толстолистовая сталь может испытывать значительные нагрузки в направлении ее толщины (Z-направление), в частности, при сварке заготовок встык (ГОСТ 12815). Однако сведений об уровне свойств толстых листов в Z-направлении в технической литературе практически нет, а имеющаяся информация [1,2] не позволяет однозначно делать заключение о возможности использования такого проката в изделиях ответственного назначения.

В данной работе исследовали механические свойства и ударную вязкость листов толщиной 150 и 60 мм в продольном, поперечном и Z-направлениях низколегированных сталей 09Г2С, 16ГС и 17ГС производства Мариупольского металлургического комбината им. Ильича. Химический состав исследованных сталей приведен в таблице 1.

Таблица 1. Химический состав сталей 09Г2С, 16ГС и 17ГС

Марка стали	Толщина листа, мм	Содержание элементов, %				
		C	Mn	Si	S	P
09Г2С	150	0,11	1,55	0,71	0,024	0,026
17ГС	150	0,16	1,02	0,65	0,027	0,031
16ГС	60	0,14	1,1	0,64	0,031	0,023

Примечание: Содержание Cr, Ni в сталях не более 0,04-0,05%

Горячая прокатка листов осуществлялась на ММК им. Ильича в соответствии с действующей технологической инструкцией. Температура конца прокатки листов толщиной 150 мм составляла 1050-1080°С, а толщиной 60мм – соответственно 980-1000°С. После окончания горячей прокатки листы подвергались противофлокенной обработке путем замедленного охлаждения в стопах с целью удаления из них водорода до приемлемых значений (менее 3,0см^3/100г) и ультразвуковому контролю, который показал, что металл соответствует первому классу сплошности по ГОСТ 22727. Макроструктурный анализ не выявил в толстолистовом прокате расслоений и каких-либо других дефектов.

От горячекатаных листов для изучения механических свойств были отобраны заготовки размером 150÷60х300х250мм. Часть заготовок подвергалась термической обработке. Температура нагрева при нормализации и закалке составляла 920-930°С,

удельное время нагрева 2,0мин/мм, что соответствовало реальным режимам термообработки толстых листов в промышленных условиях. Закалка листовых заготовок осуществлялась путем их охлаждения в воде, отпуск проводили при температурах 650-660°С длительностью 2 часа.

Механические свойства сталей в продольном, поперечном и Z-направлениях определяли при испытании на растяжение цилиндрических образцов с диаметром рабочей части 6 мм и расчетной длиной 30 мм (ГОСТ 1497), испытания на ударный изгиб проводили на образцах 1-го типа (ГОСТ 9454) при температурах от +20 до -70°С. Коэффициент анизотропии определяли из соотношения значений механических свойств, в продольном и поперечном направлениях.

Механические свойства листов сталей 09Г2С и 16ГС приведены в таблице 2.

Таблица 2. Средние значения механических свойств толстолистового проката сталей 09Г2С и 16ГС

Состояние металла	Направление вырезки образцов	$\sigma_в$	$\sigma_т$	δ_5	Ψ
		Н/мм^2		%	
Горячекатаный	Поперечное	510/520	310/320	25/26	51/48
	Продольное	520/530	320/330	25/26	51/51
	Z-направление	250/210	190/150	10/8	–/8
Нормализованный	Поперечное	520/540	330/340	30/30	69/69
	Продольное	530/540	340/350	33/30	75/72
	Z-направление	310/260	220/200	3,3/10	7,9/10
Закалка + отпуск	Поперечное	540/540	350/350	32/32	70/75
	Продольное	560/550	360/360	33/32	75/75
	Z-направление	350/330	250/260	10/13	22/12
Требования ГОСТ 5520 (не менее)		440/460	270/280	21/21	-
Требования Jis Ga 3106 (Япония)		490 – 610/490 – 610	285/295	23/21	-

Примечания: 1. Числитель – сталь 09Г2С, толщина листа 150мм; знаменатель – сталь 16ГС, толщина листа 60мм

2. Jis Ga 3106 – свойства стали SM490A толщиной 150мм (числитель) и 60мм (знаменатель).

Анализ представленных данных показывает, что листы толщиной 150 и 60мм из сталей 09Г2С и 16ГС в горячекатаном и термообработанном состояниях при испытании

образцов, вырезанных в продольном и поперечном направлениях характеризуется достаточно высоким комплексом механических свойств полностью удовлетворяющим требования отечественных и зарубежных стандартов. Существенного различия в прочностных и пластических свойствах при испытаниях продольных и поперечных образцов практически нет. Коэффициент анизотропии свойств составляет 1,02-1,08.

Нормализация не оказывает заметного влияния на прочностные свойства сталей по сравнению с горячекатаным состоянием. Относительное удлинение и сужение при этом увеличиваются на 5-8% и 18-24% (абс) соответственно, а ударная вязкость при всех температурах испытания возрастает в 1,3-1,5 раза (табл. 3). Микроструктура горячекатаной стали характеризуется разнозернистостью и состоит, в основном, из феррита и перлита 5-7 баллов, в то время как после нормализации формируется более мелкозернистая и достаточно однородная феррито-перлитная структура с величиной зерна 7-8 баллов.

Закалка с отпуском незначительно (на 30-40 Н/мм^2) повышает прочностные характеристики сталей, а также ударную вязкость при отрицательных температурах испытания по сравнению с горячекатаным и нормализованным состояниями, сохраняя при этом пластические свойства на уровне нормализованного металла. Небольшая степень упрочнения при такой обработке объясняется, с одной стороны, низкой прокаливаемостью сталей, а с другой – недостаточной скоростью охлаждения толстых листов при закалке. Микроструктура поверхностного слоя (до 3-5мм) закаленных листов состоит в основном из бейнита и небольшого количества (до 20%) избыточного феррита, а в центральной (по толщине) части листов сохраняется феррито-перлитная структура по величине зерна и дисперсности перлита не отличающаяся от нормализованной стали.

Таблица 3. Среднее значение ударной вязкости листов толщиной 150мм стали 09Г2С в зависимости от температуры испытания и направления вырезки образцов

Состояние металла	Направление вырезки образцов	KCU,МДж/м^2 при температурах, °С			
		+20	-20	-40	-70
Горячекатаный	Поперечное	1,05	0,92	0,73	0,40
	Продольное	1,26	1,05	0,83	0,44
	Z-направление	0,23	0,10	0,05	0,05
Нормализованный	Поперечное	1,60	1,12	0,98	0,52
	Продольное	1,82	1,28	1,04	0,60
	Z-направление	0,30	0,26	0,25	0,08
Закалка + отпуск	Поперечное	1,65	1,15	1,01	0,72
	Продольное	1,85	1,32	1,09	0,85
	Z-направление	0,34	0,25	0,22	0,15
Требования ГОСТ 5520 (не менее)		0,60	-	0,35	0,30

Наиболее низкие значения механических свойств и ударной вязкости (табл.3, рис.1)у исследованных сталей как в горячекатаном, так и в термообработанном состояниях наблюдаются при испытании образцов, вырезанных в направлении толщины листов. Так, в частности, временное сопротивление разрыву горячекатаных листов толщиной 150 и 60мм сталей 09Г2С и 16ГС составляет не более 0,4-0,5 величины соответствующего минимально нормируемого значения в плоскости проката,

относительное удлинение и сужение при этом не превышают 8-10 % (абс), а ударная вязкость более, чем в 2 раза ниже требований ГОСТ 5520. Термическая обработка (нормализация, закалка с отпуском) незначительно улучшает свойства толстолистового проката в направлении его толщины, но не обеспечивает требования существующих стандартов. Временное сопротивление разрыву у исследованных сталей при этом составляет 310-350 Н/мм^2, предел текучести не превышает 200-250 Н/мм^2, а ударная вязкость при всех температурах испытания на 40-50% ниже требуемых значений.

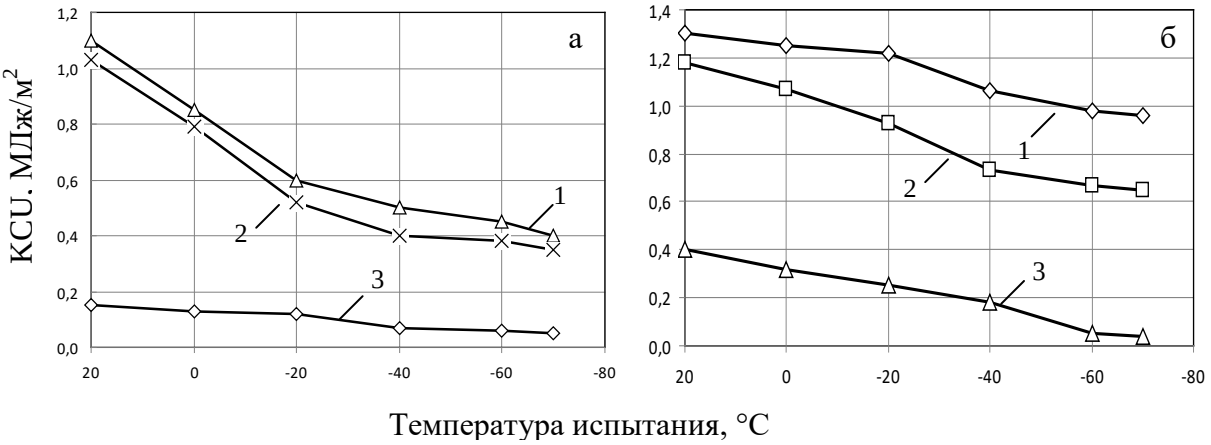


Рис. 1. Ударная вязкость листов толщиной 150мм из стали 17ГС в горячекатаном состоянии (а) и после закалки с отпуском (б) в зависимости от температуры испытания и направления вырезки образцов:

1 – продольные образцы; 2 – поперечные образцы; 3 – образцы в Z-направлении

Таким образом, применение толстолистового проката из низколегированных сталей 09Г2С, 16ГС и 17ГС из-за низкого уровня свойств в Z-направлении не гарантирует полного отсутствия ламилярных (слоистых) трещин в сварных металлических конструкциях, что необходимо учитывать на всех этапах их изготовления и эксплуатации. Улучшение уровня свойств низколегированных сталей в направлении толщины листов может быть достигнуто путем их микролегирования [3], а также повышения чистоты сталей по вредным примесям и неметаллическим включениям.

Список литературы: 1. Степанов Г.А. Механические свойства листового проката стали в направлении его толщины / Степанов Г.А. // Металловедение и термическая обработка металлов. – 2001. - №7. - С. 39-40. 2. Пемов И.Ф. Повышение механических свойств толстолистового проката в направлении толщины / Пемов И.Ф., Носоченко О.В. // Металлург. -2003. - №11. – С.49-52. 3. Пемов И.Ф. Разработка микролегированных сталей нового поколения для мостостроения / Пемов И.Ф., Морозов Ю.Д., Степашин А.М. и др. // Сталь. – 2005. - № 7. – С. 103-107.

ТЕРМИЧЕСКИЙ ДЕАЭРАТОР ПИТАТЕЛЬНОЙ ВОДЫ ДЛЯ ТУРБОУСТАНОВКИ ЭНЕРГОБЛОКОВ ВВЭР-ТОИ №1, 2 Курской АЭС-2 С ТУРБОУСТАНОВКОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ МОЩНОСТЬЮ 1255 МВт

Егоров П.В., Чупраков М.В., Сухоруков Ю.Г., Гиммельберг А.С., Эрнандес А.Д., Жукова В.С.

(ОАО «Научно-производственное объединение по исследованию и проектированию энергетического оборудования им. И.И.Ползунова» (ОАО «НПО ЦКТИ»), г. Санкт-Петербург, Россия)

Тел./Факс:8(812)578-88-00; E-mail: deaerator@ckti.ru)

Abstract: *A new feed water deaerator with a capacity of 6,300 t/h has been developed for power units with the WWER-TOI reactor No. 1,2 of the Kursk NPP-2 with a turbine unit with an electric capacity of 1,255 MW. Taken into account the experience of creating and implementing thermal de-aerators with a horizontal column of power units with WWER-1000 Tianwan NPP in China, "Kudankulam" NPP in India and deaerators with four small vertical columns for units with WWER-1200 reactor of Novovoronezh NPP-2, Leningrad NPP-2 and Belorusskaya NPP. The results of the development and development of these deaerators are used in the design of deaerators for other promising NPP and TPP power units in Russia and abroad.*

Key words: *new high-pressure thermal deaerator, low-pressure water distribution device, JSC "NPO CKTI", WWER-TOI, feed water deaerator.*

В начале 2000-х годов специалистами ОАО «НПО ЦКТИ» были разработаны укрупненные термические деаэраторы единичной производительностью 6000 т/ч для применения в схеме энергоблоков с реактором ВВЭР-1000 Тяньваньской АЭС в Китае и АЭС «Куданкулам» в Индии [1]. Деаэраторы имеют в своем составе одну горизонтальную деаэрационную колонку, установленную на деаэраторном баке геометрическим объемом 400 м^3. В качестве деаэрирующих элементов в деаэраторе используются: низконапорные водораспределительные устройства (форсунки струйного типа) и перфорированные тарелки – в колонке, «затопленное» барботажное устройство – в баке.

Деаэраторы указанной конструкции на протяжении ряда лет успешно эксплуатируются на энергоблоках №1, 2 Тяньваньской АЭС и АЭС «Куданкулам», обеспечивают надежную и устойчивую работу в проектном диапазоне изменения производительности, необходимые нагрев и качество деаэрированной воды. В настоящее время изготавливаются еще четыре таких деаэратора для энергоблоков №3-6 АЭС «Куданкулам».

В 2010-2014 гг. специалистами ОАО «НПО ЦКТИ» были разработаны термические деаэраторы для перспективных энергоблоков проекта АЭС-2006 с реакторной установкой ВВЭР-1200 Нововоронежской АЭС-2, Ленинградской АЭС-2 и Белорусской АЭС. Каждый деаэратор состоит из четырех малогабаритных вертикальных деаэрационных колонок, установленных на деаэраторном баке геометрической ёмкостью 400 м^3 [2].

В общей сложности шесть деаэраторов такой конструкции были изготовлены и поставлены на строящиеся энергоблоки АЭС отечественными энергомашиностроительными предприятиями. Головной образец деаэратора проекта АЭС-2006 с 2017 г. находится в промышленной эксплуатации на Нововоронежской АЭС-2. Деаэратор работает надежно, обеспечивая необходимый нагрев и качество питательной воды.

В 2016 г. перед ОАО «НПО ЦКТИ» была поставлена задача разработать для проекта ВВЭР-ТОИ новый деаэратор питательной воды производительностью 6300 т/ч, с улучшенными технико-экономическими характеристиками по сравнению с деаэраторами для энергоблоков ВВЭР-1000 и ВВЭР-1200. Необходимый срок службы деаэратора был увеличен до 60 лет (в два раза по сравнению с деаэраторами для энергоблоков ВВЭР-1000).

ВВЭР-ТОИ (водо-водяной энергетический реактор типовой оптимизированный информационный) – это типовой проект двухблочной, оптимизированной по технико-экономическим показателям АЭС поколения III+ с реакторными установками технологии ВВЭР. Применение базового варианта ВВЭР-ТОИ в индивидуальных проектах АЭС не требует изменений основных концептуальных, конструктивных и компоновочных решений. Энергоблоки №1 и №2 Курской АЭС-2 электрической мощностью 1255 МВт являются пилотными энергоблоками, сооружаемыми по проекту ВВЭР-ТОИ.

На основе опыта создания и внедрения деаэраторов с одной горизонтальной колонкой и четырьмя вертикальными колонками, наметились пути дальнейшего совершенствования конструкции с целью сокращения массогабаритных характеристик, повышения технологичности при изготовлении и монтаже и др.

На начальном этапе разработки деаэраторов для энергоблоков проекта ВВЭР-ТОИ было рассмотрено два конструктивных варианта:

– деаэратор с одной малогабаритной деаэрационной колонкой горизонтального типа производительностью 6300 т/ч;

– деаэратор с четырьмя малогабаритными деаэрационными колонками вертикального типа, производительностью 1600 т/ч каждая.

В обоих вариантах предполагалось, что деаэрационные колонки будут устанавливаться на деаэраторном баке геометрическим объемом 400 м^3.

По результатам сравнения обоих указанных выше вариантов, по согласованию с Генпроектировщиком энергоблоков, для дальнейшей проработки был принят вариант конструкции деаэратора с одной малогабаритной деаэрационной колонкой горизонтального типа. К преимуществам и отличиям этого варианта конструкции деаэратора по сравнению с деаэратором с четырьмя вертикальными деаэрационными колонками следует отнести:

- дополнительная деаэрационная ступень (всего четыре), равномерность распределения потоков, обеспечение высокой деаэрирующей способности;
- сохранение уровня металлоемкости в пределах 218 тонн (3 переходных штуцера, уменьшение длины центральной утолщенной части обечайки корпуса бака, и т.п.), при условии увеличения расчетного давления в ~ 1,5 раза;
- применение укрепляющих накладок всех присоединительных штуцеров;
- упрощение компоновки присоединяемых к баку трубопроводов;
- конструкцией деаэратора предусмотрены подводы пара в деаэрационную колонку и на барботаж в деаэраторном баке. Такое решение способствует сокращению массы бака и обеспечению дополнительной безопасности установки;
- повышение технологичности при изготовлении деаэратора на предприятии-изготовителе и монтаже;
- применение специальных съемных устройств отглушения присоединяемых трубопроводов на время проведения гидравлических испытаний (без резки трубопроводов).

На рисунке 1 представлена принципиальная схема нового деаэратора ДП-6300/250-А, разработанного специалистами ОАО «НПО ЦКТИ» в 2017 г. Деаэратор состоит из одной малогабаритной горизонтальной деаэрационной колонке, установленной на деаэраторном баке геометрической ёмкостью 400 м^3.

Применение в деаэрационной колонке эффективных струйных форсунок и перфорированных тарелок, а в баке сливных труб и «затопленного» барботажного устройства позволяет надежно гарантировать необходимые нагрев и качество деаэрированной воды.

Первый деаэратор ДП-6300/250-А для энергоблока №1 Курской АЭС-2 изготовлен ОАО ТКЗ «Красный котельщик» в 2020 г.

Основные проектные технические характеристики деаэраторов для энергоблоков ВВЭР приведены в таблице 1.

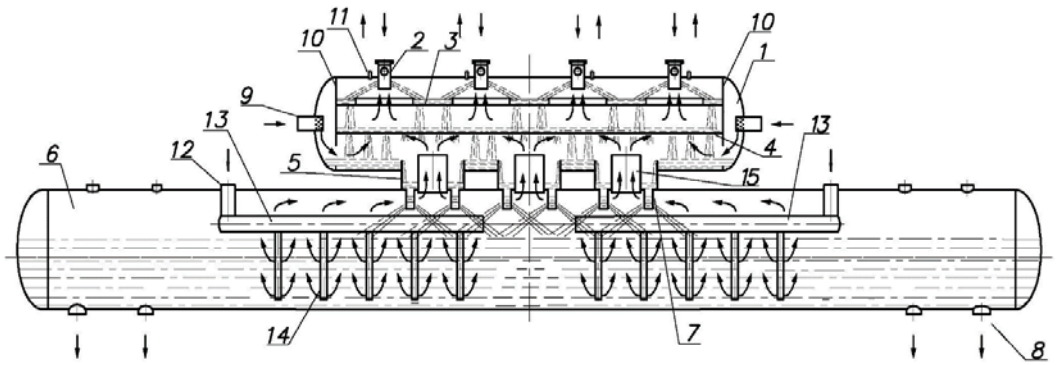


Рис. 1. Принципиальная схема нового деаэратора для турбоустановки энергоблоков №1,2 Курской АЭС-2

1 – колонка деаэрационная; 2 – штуцеры подвода основного конденсата; 3 – тарелка верхняя перфорированная; 4 – тарелка нижняя перфорированная; 5 – патрубки соединительные; 6 – бак деаэраторный; 7 – трубы сливные; 8 – штуцеры расходные; 9 – штуцеры греющего пара; 10 – фальшднище; 11 – штуцеры выпара; 12 – штуцеры подвода пара на барботаж; 13 – коллектор раздающий; 14 – трубы вертикальные; 15 – трубы паровые

Таблица 1. Основные проектные технические характеристики деаэраторов для энергоблоков ВВЭР

Характеристика	Деаэратор энергоблоков № 1, 2 Тяньваньской АЭС	Деаэратор энергоблоков № 1-6 АЭС «Куданкулам»	Деаэратор для проекта АЭС-2006	Деаэратор для энергоблоков №1,2 Курской АЭС-2
Производительность деаэратора (номинальная), т/ч	6000	6000	6400	6300
Давление рабочее, абсолютное, МПа	0,824	1,07	0,871	11,22
Давление расчетное, избыточное, МПа	0,883	1,03	0,981	**15,29**
Диапазон изменения давления при работе на скользящих параметрах, МПа	0,824 – 0,49	1,07 – 0,69	0,871 – 0,42	11,22 – 0,69
Нагрев воды в деаэраторе при номинальной производительности, °С	10 – 40	10 – 40	10 – 56	10 – 40
Диапазон изменения производительности деаэратора, % номинальной	100 – 20	100 – 30	100 – 20	100 – 20
Исполнение деаэрационных колонок	горизонтальное	горизонтальное	вертикальное	горизонтальное
Количество колонок на бак, шт.	1	1	4	1
Общая масса деаэрационной колонки (колонок), кг	65500	71500	33200	65000
Объем деаэраторного бака, $м^3$	400	400	400	400
Масса деаэраторного бака, кг	148000	149050	167800	153000
Полная высота деаэратора, мм	7700	7700	7500	8698
Общая масса деаэратора, кг	213500	220550	201000	**218000**
Содержание растворенного кислорода в деаэрированной воде на выходе из деаэратора, мкг/кг, не более	10	10	5	5

Как видно из таблицы 1, преимущества применения нового деаэратора с одной малогабаритной горизонтальной деаэрационной колонкой по сравнению с деаэратором с одной стандартной горизонтальной деаэрационной колонкой и четырьмя вертикальными заключаются в следующем:

- обеспечение увеличения расчетного давления в ~ 1,5 раза при практически равных массогабаритных характеристиках;
- применение укрепляющих накладок всех присоединительных штуцеров деаэратора позволило сэкономить более 60000 кг металла;
- упрощение компоновки присоединяемых к баку трубопроводов;
- применение специальных съемных устройств отглушения присоединяемых трубопроводов на время проведения гидравлических испытаний (без резки трубопроводов);
- обеспечивается повышение технологичности при контрольной сборке деаэратора на предприятии-изготовителе, а также при сборке, монтаже на площадке АЭС и эксплуатации.

Выводы.

1. С учетом опыта создания и внедрения деаэраторов с одной горизонтальной колонкой для Тяньваньской АЭС в Китае и АЭС «Куданкулам» в Индии, а также деаэраторов с четырьмя малогабаритными вертикальными колонками для Нововоронежской АЭС, Ленинградской АЭС-2 и Белорусской АЭС, разработан новый деаэратор производительностью 6300 т/ч с одной малогабаритной колонкой для энергоблоков с реактором ВВЭР-ТОИ №1, 2 Курской АЭС-2.

2. Применение одной малогабаритной деаэрационной колонки и укрепляющих накладок всех присоединительных штуцеров позволило сэкономить более 60000 кг металла, что в свою очередь позволило снизить нагрузки на строительную часть и себестоимость изготовления.

3. Конструкция нового деаэратора позволяет упростить компоновку присоединяемых к баку трубопроводов, повысить технологичность при его изготовлении, сборке на площадке АЭС и эксплуатации.

4. Результаты разработки указанного деаэратора используются при проектировании новых деаэраторов для перспективных энергоблоков АЭС и ТЭС в России и за рубежом [2, 3].

Список литературы: 1. Г.В. Григорьев, А.С. Гиммельберг, П.В Егоров, Н.Е. Шилова, В.Г. Михайлов, А.Н. Баева Укрупненные термические деаэраторы с горизонтальной колонкой для мощных энергоблоков АЭС [Текст] // Теплоэнергетика. – 2008. – № 2 – с. 62-65. **2.** Г.В. Григорьев, П.В. Егоров, М.В. Чупраков, А.С. Гиммельберг, Ю.Г. Сухоруков Разработка термических деаэраторов повышенного давления для турбоустановок энергоблоков АЭС мощностью 1200 МВт. // Вестник НТУ «ХПИ». 2014. – №12. – с. 54-60. **3.** П.В. Егоров, М.В. Чупраков, А.С. Гиммельберг, Н.Е. Шарапова, А.Д. Эрнандес Деаэраторы повышенного давления для отечественных энергоблоков мощностью 300 МВт. // Сборник трудов XXVI международной научно-технической конференции в г. Севастополе 23-29 сентября 2019 г. – Донецк: ДонНТУ, 2019. – с. 126-130.

МЕТОД И УСТРОЙСТВО СИММЕТРИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ В УСЛОВИЯХ АКТИВНО-АДАПТИВНОЙ СЕТИ

Закурдаев Р.Ю., Чернецкая И.Е., Исаев Е.А. *(ЮЗГУ, г. Курск, Россия)*
Тел.: +7 919-273-67-00; E-mail: borzovdb@kursknet.ru

Abstract: *At present, the concept of an intelligent electric power system with an active adaptive network (AAS AES) is actively developing, which is a new generation electric power system. Specialized computing devices (VT) occupy a dominant role in AAS AES.*
Key words: *active adaptive network, electrical network , amperage, voltage.*

Одним из показателей качества электроэнергии, для улучшения которого создана ИЭС ААС, является несимметрия токов и напряжений. Несимметрия токов и напряжений вызвана, в основном, неравномерностью электрических нагрузок по фазам электросети. Существующие устройства симметрирования не позволят получить все те преимущества, которые можно добиться в условиях ААС, главным образом, по причине недостаточных характеристик устройств ВТ.

Актуальность задачи разработки устройства симметрирования обусловлена, во-первых, потребностью в снижении потерь и повышении качества электроэнергии. Во-вторых, необходимостью наличия устройств вычислительной техники для ИЭС ААС, предназначенных для управления несимметрией электрических сетей.

Метод симметрирования электрической сети. Среди всех коммунально-бытовых нагрузок есть такие нагрузки, коммутация которых в определённых пределах будет неощутима для владельца. Это нагревательные электроприборы, находящиеся в повторно-кратковременном режиме работы (см. рис. 1).

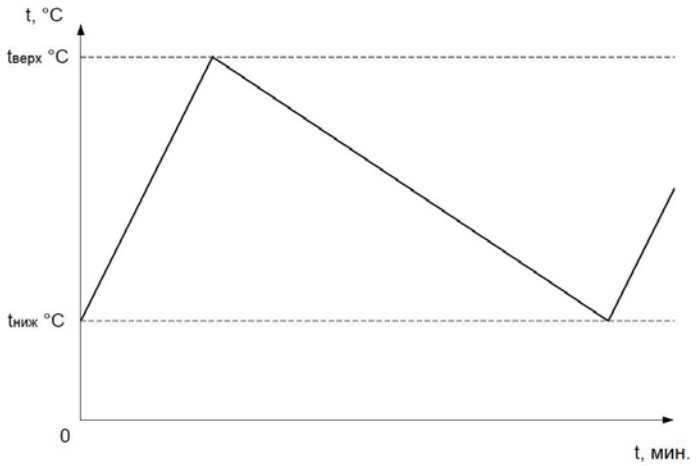


Рис. 1. График повторно-кратковременного режима работы

Температура теплоносителя таких приборов должна находиться в пределах установленных температур ($t_{верх}$ и $t_{ниж}$ на рисунке 1), при этом внутри зоны температура необязательно должна соответствовать прямым АБ и БВ, а может иметь вид, например, изображённый на рисунке 2 (вариант 2).

Нагревательные приборы или группа приборов, подключенная к разным фазам, имеют электрическую мощность P_A, P_B и P_C для фаз А, В и С соответственно. К каждой фазе электрической сети, таким образом, подключены *k, l* и *m* приборов для фаз А, В и С соответственно (1), (2),(3).

$$P_A = P_{1A} + P_{2A} + .. + P_{kA} \quad (1)$$

$$P_B = P_{1B} + P_{2B} + .. + P_{lB} \quad (2)$$

$$P_C = P_{1C} + P_{2C} + .. + P_{mC} \quad (3)$$

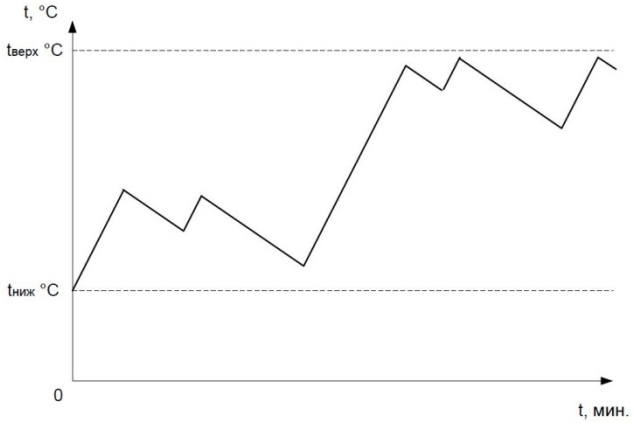


Рис. 2. График повторно-кратковременного режима работы вариант 2

Показателем несимметрии, согласно ГОСТ [1] являются коэффициенты несимметрии напряжений нулевой и обратной последовательностей, определяемые как отношение действующих значений напряжений этих симметричных составляющих к напряжению прямой последовательности (1), (2);

$$k_{2U} = \frac{U_2}{U_1}, \quad (4)$$

$$k_{0U} = \frac{U_0}{U_1}, \quad (5)$$

При этом напряжения прямой, обратной и нулевой последовательностей связаны с фазными значениями по формулам (6)-(8).

$$U_1 = \frac{\underline{U_A} + \underline{U_B} \cdot a^1 + \underline{U_C} \cdot a^2}{3}, \quad (6)$$

$$U_2 = \frac{\underline{U_A} + \underline{U_B} \cdot a^2 + \underline{U_C} \cdot a^1}{3}, \quad (7)$$

$$U_0 = \frac{\underline{U_A} + \underline{U_B} + \underline{U_C}}{3}. \quad (8)$$

Рассматриваем коммунально-бытовую электрическую сеть, по которой к потребителю протекают мощности SA, SB и SC по фазам A, B, C соответственно. В результате симметрирования по фазам стали протекать мощности SA’, SB’ и SC’ для фаз A, B, C соответственно, причём SA’=SB’=SC’. Следовательно, и IA’=IB’=IC’ и UA’=UB’=UC’ [2].

Тогда

$$U1=UA/3= UB/3=UC/3; U2=0; U0=0. \quad (9)$$

Согласно выражениям (4) и (5) k_{2U}=0 и k_{0U}=0. Таким образом, достигается симметричный режим электросети.

Управляющее воздействие на нагревательные приборы для достижения симметричного режима осуществляется по результатам количественного перебора всех вариантов коммутации нагревательных приборов. Всего вариантов коммутации n:

$$n = 2^{k+l+m} - n_1, \quad (10)$$

где k, l, m – количество нагревательных устройств для фаз А, В, С электросети соответственно, n_1 – количество недопустимых вариантов, вследствие которых нарушится температурный режим нагревательного прибора.

Количество недопустимых вариантов n_1 определяется исходя из предполагаемого времени нахождения в работе $t_{д.г.т}$ (время достижения граничной точки), вида требуемой коммутации – включить или отключить, а также текущего положения силового вентиля.

Предполагаемое время достижения граничной точки определяется при помощи измерения температуры теплоносителя нагревательного прибора и дискретного сигнала положения силового вентиля, осуществляющего коммутацию нагревательного устройства:

$$t_{д.г.т} = t \cdot \left| \frac{T_{гр} - T_n}{T_n - T_{n-1}} \right|, \qquad (11)$$

где t – время между 2-мя измерениями температуры, с; $T_{гр}$ – граничная температура, °С; T_n – температура текущего измерения, °С; T_{n-1} – температура предыдущего измерения, °С.

По известной мощности нагревательных приборов и параметрам сети, таким как: сопротивлению проводов четырёхпроводной линии, сопротивлению нагрузок, не участвующих в симметрировании, рассчитываются параметры изменённой сети, и оценивается уровень несимметрии.

Для определения параметров линии – сопротивления проводов и нагрузок, не участвующих в симметрировании – требуется выполнить измерения трёхфазных токов и напряжений. Сопротивление определяется расчётным способом, при этом падение напряжение на проводах линии составляет десятые доли вольт, в то время как измеряются фазные напряжения, равные 220В. По этой причине важно выполнить измерение фазных величин с высокой точностью, чтобы затем при расчётах получить величины на два-три порядка меньше с погрешностью, не способной повлиять на процесс симметрирования. Определение мощности нагревательных приборов происходит также расчётным способом, и для этого требуются измерение однофазных токов и напряжений.

Датчики тока и напряжения для определения параметров линии и мощностей нагревательных устройств непрерывно фиксируют токи и напряжения, при этом расчёты для определения параметров линии идут параллельно расчётам управляющего воздействия на нагревательный прибор [3].

В этом заключается метод симметрирования электрических нагрузок путём коммутации нагревательных приборов, расположенных у потребителя и находящихся в повторно-кратковременном режиме работы.

Устройство симметрирования. На основе метода симметрирования электрических нагрузок путём коммутации нагревательных приборов, расположенных у потребителя и находящихся в повторно-кратковременном режиме работы разработано устройство симметрирования (см. рисунок 3).

Здесь электрический нагревательный прибор является частью симметрируемого устройства (блок 3 на рисунке 3), при этом он продолжает выполнять свои основные функции. Кроме нагревательного прибора (блок 3), устройство состоит из трехфазной сети – 1, блока силовых вентилей – 2, нагревательного устройства – 3, блока анализа трехфазной сети – 4, блока управления переключением вентилей – 5; датчиков тока и напряжения – 6; приёмо-передатчика – 8. Соединительные линии без направления между блоками 1, 6, 2 и 3 обозначают трёхфазную четырёхпроводную (для блока 3, соединённого с блоком 2 и 6 – однофазную двухпроводную) линию электропередач, со-

единительные линии с направлением между блоками 1 и 4, 4 и 7, 6 и 7, 7 и 2, 5 и 7 обозначают линии связи.

Датчики тока и напряжения определяют параметры линии и располагаются в начале сети. В месте установки нагревательного прибора находятся датчики тока и напряжения, предназначенные для определения мощности нагревательных приборов, датчики температуры для измерения температуры теплоносителя нагревательного прибора и блок контроля положения силового вентиля, осуществляющего коммутацию нагревательного устройства, приёмопередатчик и блок силовых вентилей.

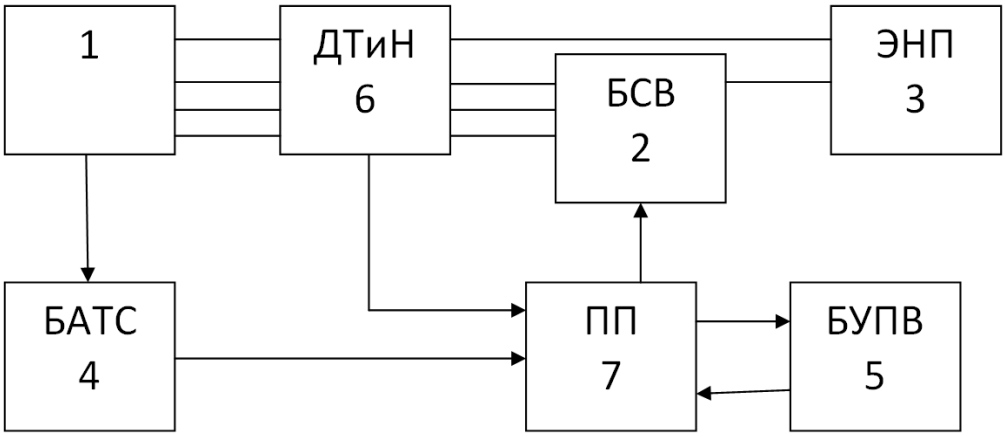


Рис. 3. Структурно-функциональная схема симметрирующего устройства

Данные от блока анализа трехфазной сети и датчиков тока и напряжения передаются в приёмо-передатчик, который осуществляет передачу по линии связи цифрового сигнала в блок управления переключением вентилей. В блок управления переключением вентилей по измеренным значениям напряжения, тока, температуры и времени изменения положения силового вентиля определяется необходимое управляющее воздействие на блок силовых вентилей. Блок управления переключением вентилей через приёмо-передатчик передаёт управляющий сигнал в блок силовых вентилей, который осуществляет коммутацию нагревательных устройств.

Таким образом, устройство симметрирования электрической сети, реализующее в своей работе упомянутый метод, позволит устранить противоречие, которое возникает между требуемым качеством симметрирующих устройств – повышенное быстродействие и точность – и ограниченными возможностями существующих аппаратно-программных средств.

Список литературы: 1. ГОСТ 30804.4.30-2013 (IEC 61000-4-30:2008) Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Методы измерений показателей качества электрической энергии. 2. Математическое обоснование снижения несимметрии в сети электроснабжения вычислительной техники / Закурдаев Р.Ю., Чернецкая И.Е. // Телекоммуникации. 2019. № 2. С. 35-42 3. Особенности применения датчиков тока и напряжения при расчёте несимметрии электрической сети / Закурдаев Р.Ю., Чернецкая И.Е. // Известия Юго-Западного государственного университета. 2019. Т. 23. № 3. С. 160-169.

ОБ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОМ ИЗЛУЧЕНИИ СОРТИРОВОЧНО-КАЛИБРОВОЧНОЙ МАШИНЫ

Заплетников И.Н., Кириченко В.А., Громов С.В. *(ГО ВПО «ДонНУЭТ им. М. Туган-Барановского», г. Донецк, ДНР)*
Тел./Факс: +38 (062) 3045046; *E-mail: oborud@kaf.donnuet.education*

Abstract: *This article is devoted to obtaining a mathematical model of the dependence of the electromagnetic radiation level of a cylindrical sorting and calibration machine on the height above the floor using the polynomial approximation method. This model will allow you to determine the rational location of the operator's workstation of a cylindrical sorting and calibration machine, not only taking into account ergonomic requirements, but also taking into account electromagnetic radiation.*
Key words: *mathematical modulation, electromagnetic radiation, electric field strength, levels of electromagnetic fields.*

Опасность электромагнитного излучения состоит и в том, что его невозможно почувствовать, оно не имеет вкуса, запаха и цвета, но обладает большой проникающей способностью. Электромагнитное излучение угнетающе воздействует на иммунитет, сердце, кровеносные сосуды, эндокринные железы и нервную систему человека. Длительное нахождение в его зоне вызывает головные боли, бессонницу, стрессовые состояния. Постоянное облучение организма может привести к выпадению волос, обострению хронических болезней, развитию серьезных психических заболеваний. Особенно оно опасно для беременных женщин, так как может спровоцировать выкидыши, преждевременные роды, развитие пороков у ребенка.

По данным ВОЗ электромагнитные излучения тесно связаны с такими диагнозами, как лейкемия и злокачественные опухоли. Кроме того, повышенное электромагнитное поле меняет гормональный статус мужчины, увеличивает количество хромосомных мутаций и негативно сказывается на его репродуктивной системе. Даже слабые поля, особенно такие, которые совпадают по частоте с электромагнитным излучением человека, способны нанести вред здоровью, искажая собственное излучение и тем самым, вызывая различные болезни.

Огромное влияние на здоровье человека играют такие факторы электромагнитного излучения, как:

– мощность источника и характер излучения;

– его интенсивность;

– длительность воздействия.

Также стоит отметить, что воздействие излучения может быть общим или местным. Местное воздействие – это воздействие на определенный участок тела. Общее воздействие – это воздействие на все тело человека.

Технологическое оборудование пищевых производств является источником электромагнитного излучения и его необходимо исследовать. К такому оборудованию относится цилиндрическая сортировочно-калибровочная машина (рис. 1) [1, 2]. Данная машина была выбрана в качестве испытуемого оборудования, так как является экспериментальным образцом, выполнена в одном экземпляре и ранее не исследовалась.

Сортировочно-калибровочная машина состоит из шести основных частей: 1 - опорная рама, 2 - рабочий орган, 3 - основание привода, 4 - рессора, 5 - привод, 6 - комплект желобов. Опорная рама имеет П - образную форму, к ее перекладине крепится основание привода, к которому прикреплен рабочий орган. Основание прикреплено к основе посредством штанги и через пружинную рессору. В нижней

части опорной рамы крепится комплект желобов для разгрузки машины. Бункер для загрузки крепится на задней части основания.

Привод состоит из электродвигателя, дебаланса и редуктора, который имеет специальный шкив на четыре ремня. Соответствующие шкивы установлены на ведомых роликах передней части основания привода.

Рабочий орган состоит из четырех цилиндров разного диаметра. Каждый цилиндр имеет крайние кольца, твердую стальную раму, обтянутую стальным или медным ситом с соответствующим размером ячеек. В состав рабочего органа входит такое же количество валиков, установленных вплотную к внешней поверхности каждого цилиндра, валики имеют ворсистую поверхность. На обоих торцах каждого цилиндра, в крайних кольцах штампованы специальные канавки, которые предназначены для контакта с резиновыми шинами роликов, которые имеют соответствующую форму.

Основание привода состоит из двух частей: передней части, где закреплен сам привод и задней части, которая по конструкции аналогична передней и соединяется с ней посредством резьбовых соединений.

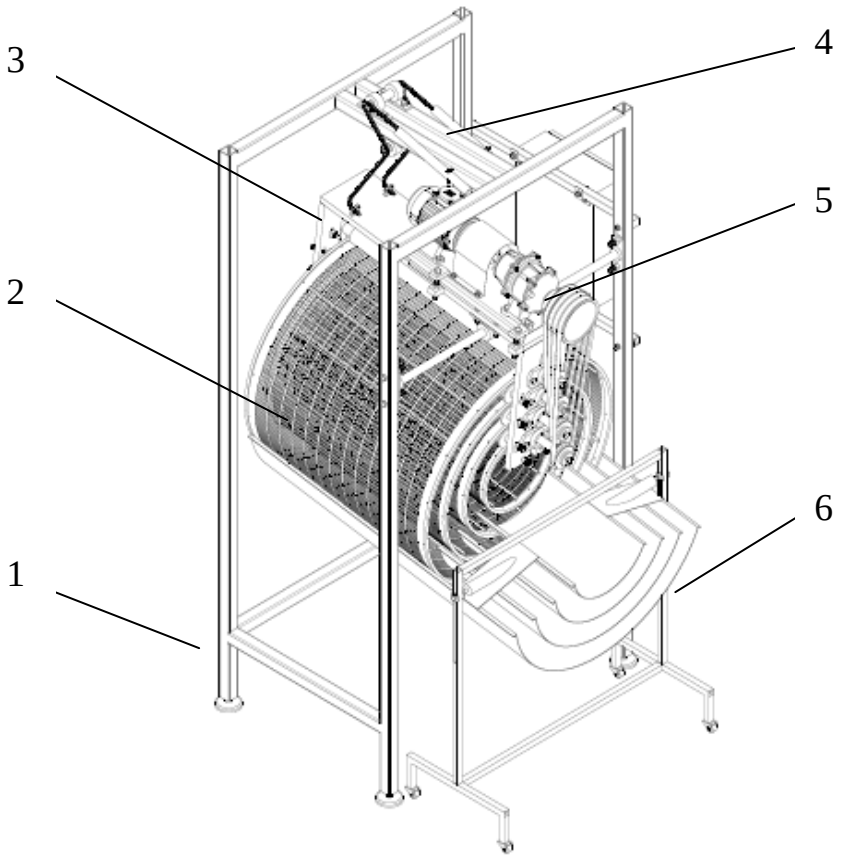


Рис. 1. Цилиндрическая сортировочно-калибровочная машина

Машина функционирует следующим образом. После включения электродвигателя крутящий момент с редуктора через ременную передачу передается на ведомые ролики, которые, используя фрикционные свойства своих шин, передают вращение на цилиндры. В связи с разными диаметрами цилиндры будут иметь разную скорость вращения. Через бункер исходная смесь подается в наименьший по диаметру цилиндр, он имеет сито с самыми большими ячейками и наиболее быстрое вращение

относительно других цилиндров. Фракции исходной смеси, которые не пройдут сквозь сито, сходят по нему вниз под уклоном и попадают в свой желоб, проход исходной смеси распределяется по другим цилиндрам, размеры ячеек которых, уменьшаются к периферии. В результате получаем выход пяти фракций исходного материала. Валики установлены между ведомыми роликами передней части основания привода и соответствующими им роликами задней части основания, покрытые мелким щитовидным ворсом, они производят очистку засоренных ячеек сит при вращении и обеспечивают продолжительность непрерывному процессу. В конструкции машины используются цилиндрические сита, вставленные одно в другое и имеющие общую симметрию. Ощутимое влияние центробежной силы на продукт не допускается установленным пределом числа оборотов.

Цель работы – получение математической модели электромагнитного излучения цилиндрической сортировочно-калибровочной машины**.**

При проведении контроля над уровнями электромагнитных полей частотой 50 Гц на рабочих местах должны соблюдаться установленные требованиями безопасности при эксплуатации электроустановок предельно допустимые расстояния от оператора, проводящего измерения, и измерительного прибора до токоведущих частей, находящихся под напряжением [3].

Используемая в исследованиях методика измерения уровней электромагнитного поля соответствует СанПиН 2.2.4.1191-03 «Электромагнитные поля в производственных условиях» [4] и устанавливает методы контроля уровней электромагнитного поля частотой 50 Гц. Согласно методике контроль уровней электромагнитных полей, излучаемых электроустановками частотой 50 Гц, должен осуществляться во всех зонах возможного нахождения человека при выполнении им работ, связанных с эксплуатацией и ремонтом данного оборудования.

При расположении нового рабочего места над источником магнитного поля напряженность (индукция) магнитного поля частотой 50 Гц должна измеряться на уровне земли, пола помещения, кабельного канала или лотка.

Измерения и расчет напряженности электрического поля частотой 50 Гц должны производиться при наибольшем рабочем напряжении электроустановки, или измеренные значения должны пересчитываться на это напряжение путем умножения измеренного значения на отношение Umax/U.

Измерения напряженности электромагнитных полей частотой 50 Гц проводились на высоте 0,5; 1,5 и 1,8 м от поверхности пола помещения, в котором установлена цилиндрическая сортировочно-калибровочная машина и на расстоянии 0,5 м от ее наружных частей и стен здания. Для измерения уровней электромагнитного поля использовался прибор «KKMOON GM3120».

Результаты исследования электромагнитного излучения сортировочно-калибровочной машины представлены в таблице 1.

Таблица 1. Результаты исследования электромагнитного излучения сортировочно-калибровочной машины

Расстояние от пола, м	Уровень электромагнитного излучения, мкТл			
0,5	0,86	1,2	1,9	1,7
1,5	1,8	2,04	2,2	2,4
1,8	1,2	1,6	1,3	1,8

Для описания проведенных экспериментов был построен график (рис. 2) в табличном редакторе Excel и проведена аппроксимация [5,6].

Математическая модель имеет вид:

$$L = -2{,}1718m^2 + 5{,}0336m - 0{,}6538$$

где L – уровень электромагнитного излучения, мкТл;
m – расстояние от уровня пола до точки измерения, м.

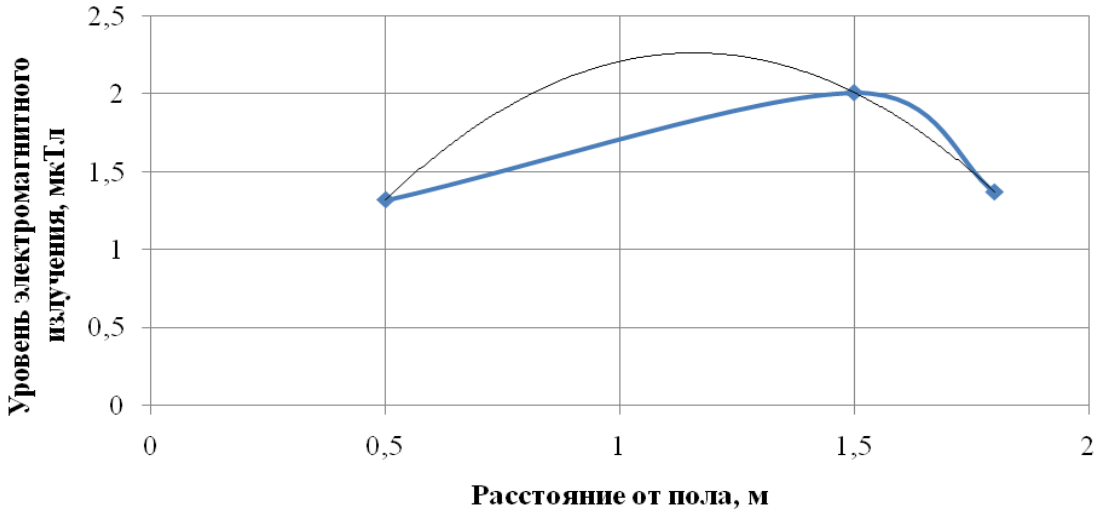


Рис. 2. График зависимости уровня электромагнитного излучения от высоты над уровнем пола (полиномиальное сглаживание)

Из графика видно, что уровень электромагнитного излучения имеет непостоянный характер и изменяется в зависимости от высоты над уровнем пола. Линия тренда изогнута, уровень достоверности R^2=0,9636, что является довольно приемлемым итогом, характеризующим математическую модель, как достоверную.

Вывод: полученная математическая модель зависимости уровня электромагнитного излучения от высоты над уровнем пола позволит определить рациональное расположение рабочего места оператора цилиндрической сортировочно-калибровочной машины не только с учетом эргономических требований, но и с учетом электромагнитного излучения.

Список литературы: **1.** Фалько А.Л. Размерная классификация сыпучих пищевых продуктов: Монография / Донецк: 2009. – 215 с. **2.** Патент на полезную модель 24985 Украина, МПК (2006) B07B 13/00. Рассеиватель многоцелевой цилиндрический / Фалько А.Л.; заявитель и патентообладатель Донецкий гос. универ. экономики и торговли; опубл. 25.07.07, Бюл. №11 – 8 с. **3.** Гасанов С.Э. Различные методы и средства при измерении электромагнитных излучений // Молодой ученый. 2016. №25. – С. 26-28. **4.** СанПиН 2.2.4.1191-03 «Электромагнитные поля в производственных условиях» Издательство стандартов – Москва, 2003 – 6 с. **5.** Введение в математическое моделирование. Под ред. Трусова П.В. // Москва: "Интермет Инжиниринг", 2000. – 336 с. **6.** Информатика: Учеб. пособие для студ. пед. вузов / А.В. Могилев, Н.И. Пак, Е.К. Хеннер; Под ред. Е.К. Хеннера. – Москва: Изд. центр "Академия", 2000. – 816 с.

ВОССТАНОВЛЕНИЕ СТАЛЬНЫХ КОЛЕНЧАТЫХ ВАЛОВ И ПОЛУЧЕНИЕ ВКЛАДЫШЕЙ ДЛЯ ДВИТЕЛЕЙ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ

Звягинцева А.В. *(Воронежский государственный технический университет, г. Воронеж, Российская Федерация)*
Тел./Факс: 89507501062; E-mail: zvygincevaav@mail.ru

Abstract:*An alternative solution for building a technological scheme for restoring parts of internal combustion engine components is recommended. Reconstruction of defective and lost the original properties of the surface layer of products of large dimensions is implemented using local electrode systems of mobile type. Practiced electrolytes are characterized by the best environmental indicators in comparison with similar ones.*
Keywords: *liners, shaft neck, conjugated surfaces, restoration of the worn layer, portable electrochemical cell*

1. Введение

Предлагается экономичная переносная система восстановления пары вал-подшипник. Компактный электролизер позволят производить восстановительные работы на каждом элементе шейки вала, рис. 1. В качестве компонентов восстановления используются свинцовистая бронза вместо сплава железо-алюминий, а вместо хрома – сплав никель-бор [1-5].

Известно, что для восстановления стальных валов используют гальваническое хромирование. При этом, как правило, процесс хромирования осуществляется из электролитов на основе хромовой кислоты. Основными недостатками таких электролитов является высокая токсичность и канцерогенные свойства. Взамен мы предлагаем электролит на основе сплава Ni-B. По своим механическим свойствам эти покрытия не уступают хрому, но полностью экологичные и безопасные.

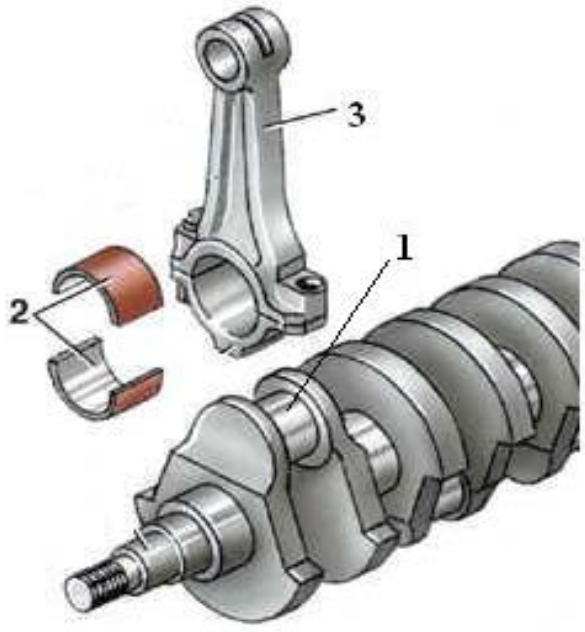


Рис. 1. Общий вид пары вал-подшипник
1 – шейка вала, 2 – вкладыш подшипника, 3 – шатун

2. Методика эксперимента

Преимущество вкладышей из свинцовистых бронз в сравнении с альтернативными вариантами из сплава железо-алюминий состоит в том, что вкладыши свинцовистых бронз имеют более высокий коэффициент скольжения и более высокую ударную прочность. Ресурс эксплуатации данных вкладышей в 5-7 раз больше, чем железо-алюминий. Отсутствует нежелательный эффект «схватывания» при пуске двигателя. Данный нежелательный эффект «схватывания» является причиной аварий и простоев, как следствие - незапланированных повторных ремонтов, что приводит к дополнительным убыткам. Для свинцовистых бронз при запуске в отсутствии смазки («масляного клина») между валом и вкладышем функция смазки выполняется за счет включения частичек свинца, входящих в состав механической смеси [2].

Предложенная нами технология позволяет восстанавливать валы любых габаритов, поскольку основана на использовании переносной электрохимической ячейки. Общий вид представлен на рис. 2.

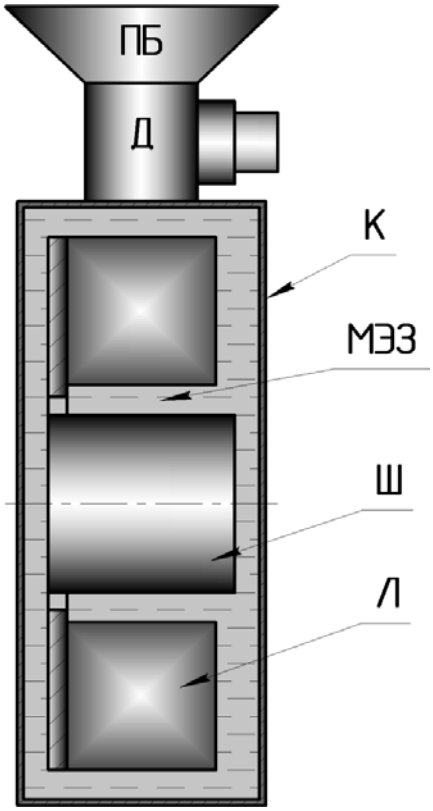


Рис. 2. Конструкция переносной электрохимической ячейки
ПБ – приёмный бункер, ПК – приводное колесо, ВК – ведущее колесо, Л – лопасть анода, Ш – шейка вала, МЭЗ – межэлектродный зазор, К – корпус, Д - дозатор

Эти ячейки состоят из электролизера, подвижного электрода, источника питания и системы, обеспечивающей циркуляцию электролита. Поскольку интенсивность процесса определяется значительным количеством потребляемой энергии на восстановление изношенной детали, то необходимо осуществлять тщательное перемешивание в рабочей зоне электролизера. Это достигается как принудительной циркуляцией электролита (малым центробежным насосом), так и вращением подвижного электрода вокруг восстанавливаемой шейки вала.

Для восстановления шейки вала вместо традиционно используемого процесса хромирования была применена новая технология получения покрытия на основе электролита из боросодержащей добавки и соли никеля. С применением электролита Ni-B удается существенно снизить рабочую плотность тока до 4 А/дм^2, исключить применение экологически вредных электролитов хромирования на основе хромой кислоты, улучшить экологию процесса, отказавшись от сложных и дорогих систем вентиляции и процессов дезактивации выбросов соединений хрома.

Следует подчеркнуть, что в процессе перехода на новую технологию резко снижаются затраты на утилизацию вредных соединений химических веществ, в частности соединений шестивалентного хрома, который представляет собой группу веществ повышенной опасности, относящихся к классу канцерогенных.

Для повышения качества покрытий, используемых для восстановления шейки вала, мы применяли импульсные режимы осаждения, благодаря которым удается улучшить адгезию покрытия к основе. Композиты Ni-B по своим механическим характеристикам (износостойкость, твердость) не уступают хрому [3, 4].

Существующие технологии производства свинцовистых бронз не обеспечивают достаточного качества получаемых вкладышей и характеризуются устаревшей технологией. Формирование смеси в традиционной технологии осуществляется методом центробежного литья через сетку (размер ячейки 0,3-0,5 мм). Дополнительные сложности возникают в последующей обработке нанесенного на пастель вкладыша методом расточки. Общий вид подшипника скольжения представлен на рис. 3.

Предлагаемая нами технология формирования вкладыша может осуществляться двумя способами.

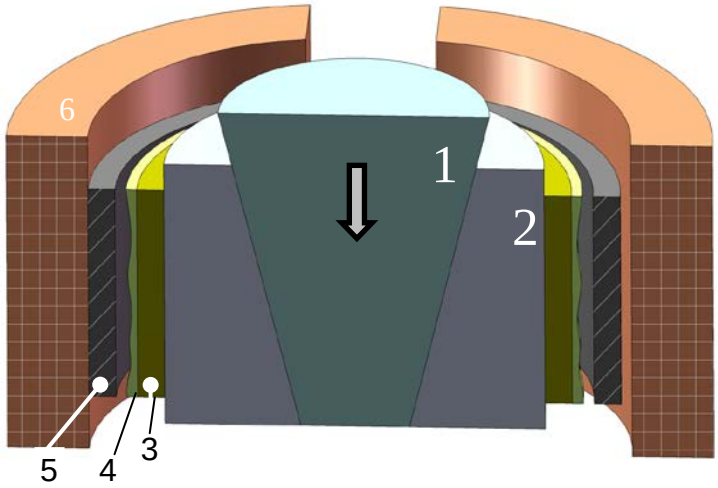
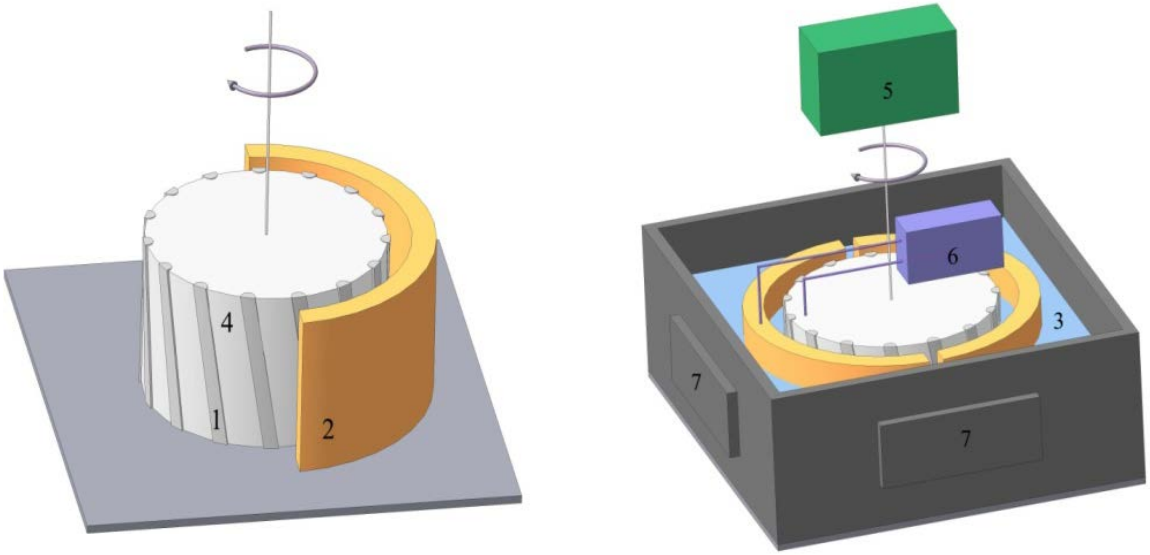


Рис. 3. Схема распределения усилий в элементах механизма сплавления вкладыша с пастелью
1 - конус перемещения нажимных сегментов, 2 - нажимные сегменты, 3 - тело пастели, 4 – вкладыш, 5 - промежуточный слой, 6 - катушка индуктора

Во-первых, электрохимическое формирование материала вкладыша непосредственно на подложке пастели подшипника. Схема этой технологии представлена на рис. 4.

Наличие выступающих ребер на поверхности электрода, расположенных под углом около 60 градусов позволяет выполнить следующие основные функции:

1. обеспечить более интенсивное перемешивание электролита в зоне электро- кристаллизации сплава,
2. увеличить степень равномерности перемешивания электролита,
3. исключить адгезию газов на поверхности ребра (за счет центробежных сил).



а) электрохимическая ячейка

б) расположение электрода в электролитической ванне

Рис. 4. Схематическое изображение работы сканирующего электрода
1 – электрод, 2 – деталь, 3 – электролит, 4 – корпус электрода; 5 – подвесной механизм; 6 – источник питания; 7 – терморегуляторы

Второй способ: формирования вкладыша происходит за счет индукционной плавки. При реализации технологии второго типа формирование материала вкладыша

на основе свинцовистой бронзы производится методом индукционной плавки сплава CuPbSn: медь – 72 %, свинец– 27 %, олово – 1 %.

Режимы плавки имеют специфическую особенность. При первом этапе – перемешивании, когда все компоненты находятся в расплавленном состоянии, осуществляется равномерное распределение компонентов по высоте пластины. Следующий этап – для достижения равномерно-однородного распределения компонентов по объему пластины фиксация положений атомов осуществляется импульсным магнитным полем и удерживает их в этом состоянии до температуры кристаллизации меди. Таким образом, медь образует скелетную структуру получаемого сплава. Дальнейшая фиксация свинца магнитным полем не требуется, поскольку эту функцию уже выполняет медь. Уменьшая энергию магнитного воздействия, мы снижаем температуру образца, фиксируя его нормализованное распределение.

Дальнейшая технология посадки вкладыша на пастель осуществляется после предварительного осаждения сплава Ni-Sn на поверхность, обращенную к стальной пастели. Одновременно покрываем сплавом Ni-Sn поверхность пастели, контактирующей с вкладышем. Сплав Ni-Sn должен содержать в своем составе компоненты металлов в таком количестве, которые обеспечивают температуру плавления Ni-Sn на уровне значений порядка 300-350 ^{0}C. Далее по технологии осуществляется операция посадки вкладыша на основании пастели методом пайки. Это производится коротким электрическим импульсом.

3. Выводы.

Для повышения эффективности использования импульсного тока нами предложен режим питания рабочей ячейки с остаточным (фоновым) током, благодаря которому исключаются потери на перезарядку емкости двойного слоя.

Для исключения процесса наводороживания, который вызывает хрупкость структуры износостойкого покрытия, нами предложен способ послойного удаления водорода из структуры покрытия. Суть этого способа заключается в кратковременном нагреве восстановленной поверхности до температуры 150-180 ^{0}C [5]. При этом водород удаляется из приповерхностного слоя изделия, обеспечивая требуемое значение пластичности восстанавливаемого слоя.

Конечная операция заключается в проточке вала под необходимый размер вкладыша при сборке в блок двигателя.

Список литературы: 1. Звягинцева А.В., Шалимов Ю.Н. Особенности электрохимического образования Ni-B покрытий //Технология машиностроения. 2008. № 3. С. 27-34. **2.** Богданович Е.Н., Звягинцева А.В., Шалимов Ю.Н. Технология восстановления системы сопряжения вал-подшипник // Технология машиностроения. 2010. № 4. С. 32-38. **3.** Звягинцева А.В., Кравцова Ю.Г. Гальванические покрытия сплавами Ni -B как возможная альтернатива хромовым покрытиям. Известия ТулГУ. Серия Электрофизикохимические воздействия на материалы. Вып. 6 - Тула, Изд - во ТулГу, 2005 - С. 122 – 128. **4.** Электролит для электрохимического осаждения функциональных покрытий Ni-B /А.В. Звягинцева, А.И. Фаличева. - Патент № 2124072 Россия. – МПК: C25D3/56. -Заявка № 93036355/02. Дата подачи заявки 14.07.19993. - Опубликовано 27.12.98. - Бюл. № 36. – Патентообладатель: Воронежский политехнический институт. **5.** Звягинцева А.В. Особенности формирования слоистых покрытий для восстановления поверхностного слоя изделий / А.В. Звягинцева // Машиностроение и техносфера XXII века: сбор. трудов XVII международной научно-технической конференции. 2010 г. - В 4-х томах. - Донецк: Изд-во «ДонНТУ», 2010. - Т. 1. - С. 281 - 285.

РАСЧЕТ ТЕПЛОВЫХ ПОТОКОВ И ТЕМПЕРАТУР РЕЗАНИЯ ПРИ ТОНКОМ ТОЧЕНИИ ЗАКАЛЕННЫХ СТАЛЕЙ РЕЗЦАМИ ИЗ СТМ

Ивченко Т.Г.
(ДонНТУ, г. Донецк, Украина)
Тел./Факс: +38 (062) 3050104;E-mail: tm@mech.dgtu.donetsk.ua

Absract: *The results of calculation of the thermal stream and cutting temperatures at the finish turning by cutting tools from super hard materials are expected. The comparative analysis of the thermal stream and cutting temperatures at the finish turning of the different hard-tempered steel is executed. The conformities to the law of the cutting temperatures change depending on the cutting regimes for finish turning of hard-tempered steel are set.*
Key words: *super hard materials, finish turning, thermal stream, cutting temperature.*

Перспективным направлением совершенствования современного машиностроительного производства является использование сверхтвердых инструментальных материалов (СТМ), обеспечивающих существенное повышение эффективности окончательной обработки деталей машин, в том числе тонкого точения закаленных сталей.

В настоящее время имеется достаточно большое количество разновидностей СТМ и оснащенных ими режущих инструментов [1]. Наибольшее распространение при обработке закаленных сталей имеют СТМ на основе кубического нитрида бора cBN.

Для обоснования области рационального применения СТМ весьма актуальны экспериментальные исследования физических особенностей протекания процесса резания [2]. Результатом таких исследований являются установленные закономерности стружкообразования, изнашивания лезвия инструментов, формирования сил и температур резания. Однако, известных экспериментальных исследований тепловых явлений при тонком точении инструментами из СТМ недостаточно, чтобы учесть все разнообразие их свойств и условий обработки.

Весьма перспективными являются теоретические методы анализа тепловых потоков и температур в зоне резания инструментами из СТМ, успешно используемые применительно к твердосплавным инструментам [3].

Как экспериментальные, так и теоретические методы исследования свидетельствуют о высоких температурах в зоне резания инструментами из СТМ, ограничивающих возможный уровень скоростей резания и производительность обработки [4].

В работе [5] на основании исследований общих закономерностей формирования температурных полей в лезвии режущего инструмента установлены особенности распределения температур в лезвии инструмента из СТМ, а также на его передней и задней поверхностях в зависимости от свойств обрабатываемых и инструментальных материалов. Представляет интерес дальнейшее развитие указанных исследований.

Для практического использования целесообразна также разработка теоретических зависимостей температуры резания от режимов обработки в различных условиях тонкого точения.

Целью работы является исследование тепловых потоков и температур в зоне резания в зависимости от режимов резания для различных закаленных сталей и сверхтвердых инструментальных материалов.

Плотности тепловых потоков на передней q_1 и задней q_2 поверхностях лезвия инструмента в зависимости от основных параметров процесса резания [5]:

$$q_1 = \frac{K_1K_3\lambda_u - K_2N_2h + K_1M_2h}{K_3K_4\lambda_u + M_2K_4h - N_1N_2lh/\lambda_u};\ q_2 = \frac{(K_1 - K_4q_1)\lambda_u}{N_2h}, \qquad (1)$$

где K_1, K_2, K_3, K_4 – коэффициенты, зависящие от условий тонкого точения; λ_u - коэффициент теплопроводности материала инструмента; M_1, M_2, N_1, N_2 - безразмерные функции, определяющие нагрев контактных площадок на передней и задней поверхностях $M_{1,2} = (4{,}88+2{,}64\eta_{1,2}^{0,5}\lg\eta_{1,2})\beta^{0,85}$; $N_{1,2} = (0{,}04+0{,}02\ \eta_{1,2}^{0,6}\lg\eta_{1,2})B_{1,2}(h/l)$, ($\eta_1 = b/l$, $\eta_2 = b/h$); $B_{1,2}(h/l)$ – специальные функции; l – длина контактной площадки в направлении схода стружки: $l = 2S\sin\varphi[k(1 - \mathrm{tg}\gamma) + \sec\gamma]$ (γ - передний угол резца; φ - главный угол в плане; k - коэффициент усадки стружки); b – ширина среза; h – износ по задней поверхности.

Расчеты тепловых потоков и температур резания выполнены для различных условий тонкого точения. Обрабатываемые материалы: конструкционная сталь 45 HRC45 (k = 2; λ = 41,9*Вт/м°С*) и сталь 40Х HRC50 (k = 1,7; λ = 37,7*Вт/м°С*), углеродистая инструментальная сталь У10 HRC60 (k = 1,5; λ = 34,7*Вт/м°С*). Инструментальные материалы - эльбор-Р (λ = 49 *Вт/м°С*), гексанит (λ = 25 *Вт/м°С*), киборит (λ = 89 *Вт/м°С*). Геометрические параметры резцов: передний угол $\gamma = -7^o$, задний угол $\alpha = 7^o$, углы в плане $\varphi = \varphi_1 = 45^o$. Износ по задней поверхности h = 0,1мм. Глубина резания t = 0,2мм.

Результаты сравнительного анализа плотностей тепловых потоков на передней q_1 и задней q_2 поверхностях лезвия инструмента при обработке различных сталей резцами из эльбора-Р представлены на рис. 1.

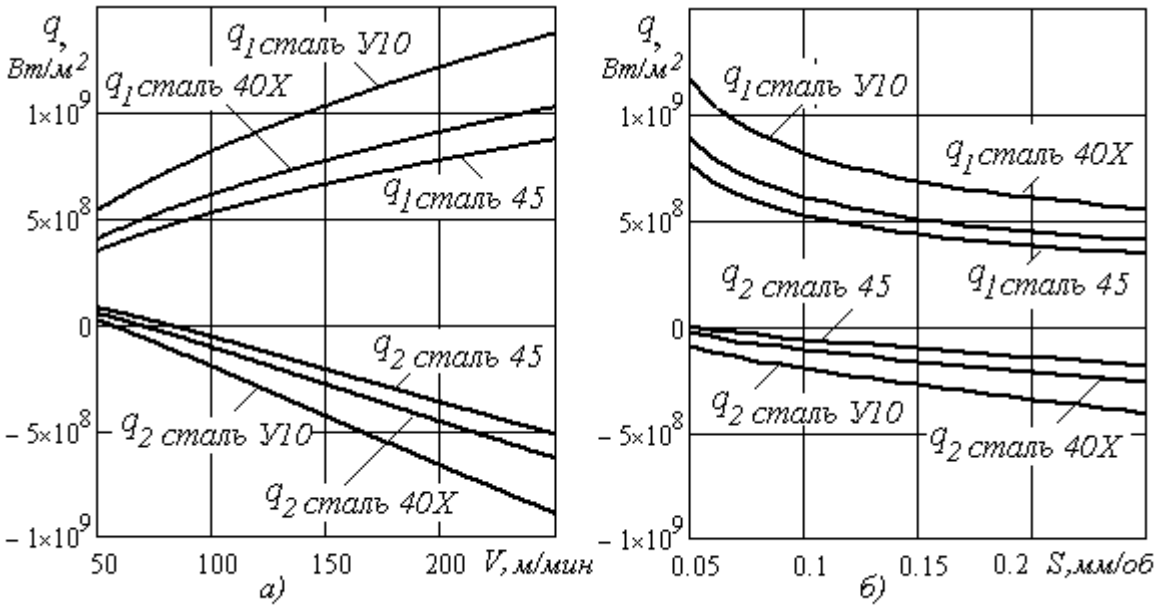


Рис. 1. Графики зависимостей плотностей тепловых потоков на передней q_1 и задней q_2 поверхностях лезвия инструмента от скорости резания V – *а)* и подачи S – *б)* для различных обрабатываемых материалов

Плотности тепловых потоков возрастают с ростом скорости резания V, что закономерно связано с увеличением общей мощности тепловыделения при резании. Однако с увеличением подачи S и соответствующим увеличением площади контакта стружки с передней поверхностью лезвия плотности тепловых потоков уменьшаются. Отрицательные значения плотности тепловых потоков на задней поверхности лезвия q_2 свиде-

тельствует о направлении теплового потока из инструмента в деталь, что способствует охлаждению инструмента.

Для заданных условий обработки плотностей тепловых потоков на передней q_1 и задней q_2 поверхностях лезвия инструмента при обработке стали У10 превышают плотности тепловых потоков при обработке конструкционных сталей. Это объясняется увеличением сил резания в связи с более высокой твердостью стали У10; снижением площади контакта стружки с передней поверхностью лезвия вследствие меньшей усадки стружки для этой стали, а также ее меньшей теплопроводности.

На основании установленных тепловых потоков q_1 и q_2 могу быть рассчитаны средние температуры на передней Θ_1 и задней Θ_2 поверхностях лезвия инструмента, а так же температура резания Θ_P, представляющая собой среднюю температуру на передней и задней поверхностях [5]:

$$\Theta_1 = \frac{q_1 l}{\lambda_u} M_1 + \frac{q_2 h}{\lambda_u} N_2;\ \Theta_2 = \frac{q_2 h}{\lambda_u} M_2 + \frac{q_1 l}{\lambda_u} N_1;\ \Theta_P = \frac{\Theta_1 l + \Theta_2 h}{l + h}. \qquad (2)$$

Результаты сравнительного анализа температур резания при обработке различных сталей резцами из эльбора-Р представлены на рис. 2.

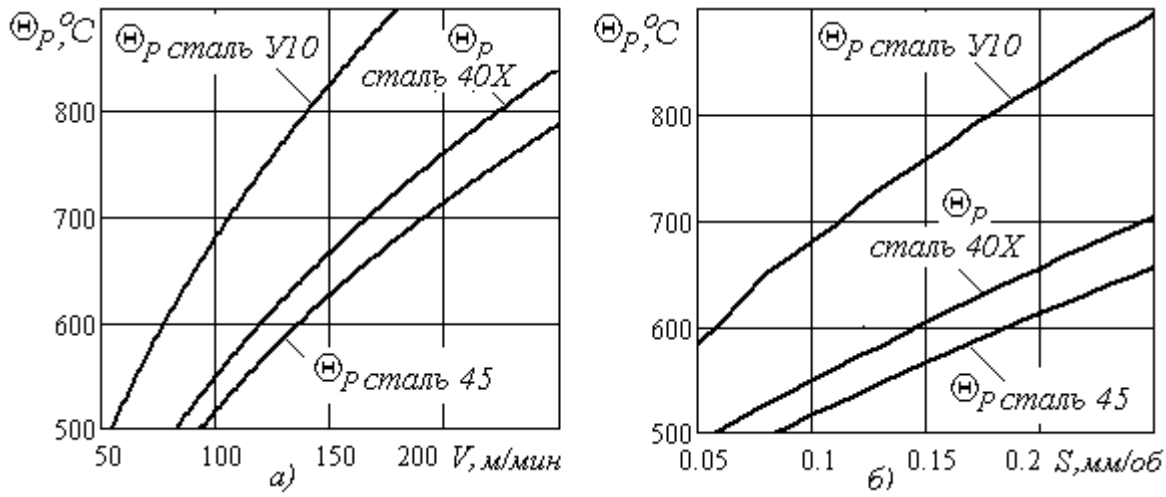


Рис. 2. Графики зависимостей температуры резания Θ_P от скорости резания V – *а)* и подачи S – *б)* для различных обрабатываемых материалов

Температура резания возрастает с ростом скорости резания V, что закономерно связано с увеличением плотности тепловых потоков на передней поверхности лезвия инструмента. Температура резания возрастает так же и сростом подачи S, что объясняется увеличением общей мощности тепловыделения, несмотря на некоторое снижение плотности тепловых потоков на передней поверхности. Для заданных условий обработки наибольшая температура резания возникает при обработке стали У10, что соответствует более высокой плотности тепловых потоков.

С использованием множественного регрессионного анализа установлены аналитические зависимости температуры резания от скорости резания V и подачи S для исследованных обрабатываемых и инструментальных материалов (Θ_{P1} – киборит, Θ_{P2} – эльбор-Р, Θ_{P3} – гексанит):

$$\Theta_{P1} = 37{,}3K_t S^{0{,}25} V^{0{,}56};$$
$$\Theta_{P2} = 83{,}4K_t S^{0{,}25} V^{0{,}48}; \quad (3)$$
$$\Theta_{P3} = 131K_t S^{0{,}25} V^{0{,}42},$$

где K_t = 1 для стали 45, K_t = 1,2 для стали 40Х, K_t = 1,6 для стали У10.

Температуры резания для различных инструментальных материалов различны в соответствие коэффициентами их теплопроводности: наименьшая - для киборита наибольшая – для гексанита. Для обработки закаленных сталей успешно могут использоваться киборит и эльбор-*Р*; при использовании гексанита наблюдаются весьма высокие температуры, что существенно ограничивает скорости резания и производительность.

Проверка адекватности установленных теоретических зависимостей температуры резания от режимов резания выполнена путем сравнения с результатами экспериментальных исследований, выполненных при обработке стали У10 (HRC58…60) в условиях: S = 0,07 мм/об, t = 0,2 мм, $hз$ = 0,2 мм и представленных в работе [2] (рис. 3).

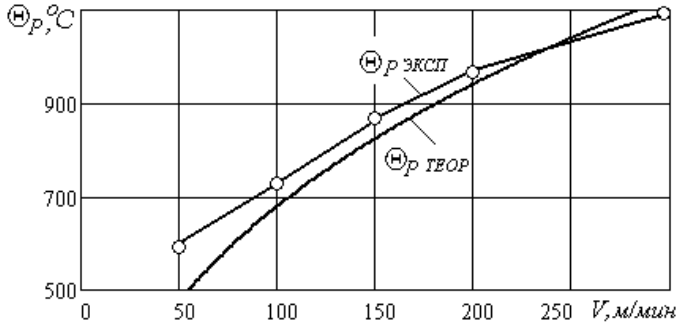


Рис. 3. Графики зависимостей температуры резания Θ_P от скорости V при обработке стали У10

Результаты теоретических и экспериментальных исследований температуры резания, достаточно хорошо совпадают (максимальная погрешность не превышает 10%). Это подтверждает возможность использования установленных теоретических моделей (3) на практике.

Таким образом, представленная методика и установленные модели (3) позволяют прогнозировать температуры резания в заданных условиях обработки, а также обосновывать режимы резания, обеспечивающие допустимый уровень температур.

Список литературы: 1. Инструменты из сверхтвердых материалов / под ред. Н.В. Новикова и С.А. Клименко. – М.: Машиностроение, 2014. – 608 с. **2.** Физико-математическая теория процессов обработки материалов и технологии машиностроения / Под общей редакцией Ф.В. Новикова и А.В. Якимова.– Одесса: ОНПУ. - Т. 3. - 2003. – 546 с. **3.** Ивченко, Т.Г. Исследование общих закономерностей изменения температуры резания в различных условиях обработки / Т.Г. Ивченко // Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія: Машинобудування і машинознавство. – Донецьк: ДонНТУ. – 2009. – № 6. – С. 49-55. **4.** Ивченко, Т.Г. Повышение эффективности использования инструментов из сверхтвердых материалов при точении закаленных сталей / Т.Г. Ивченко, Е.О. Лыхманюк, А.А. Андреева // Машиностроение и техносфера XX1 века. Сб. трудов XXVI межд. конференции в г. Севастополе 23-28 сентября 2019г. - Донецк: ДонНТУ. - 2019. – Т. 1. - С. 289-292. **5**. Ивченко, Т.Г. Анализ тепловых потоков и температур в зоне резания при тонком точении резцами из сверхтвердых материалов / Т.Г. Ивченко, А.А. Андреева // Прогрессивные технологии и системы машиностроения: – Донецк: ДонНТУ. - 2020. - № 2 (69). – С. 16-22.

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ПАРАМЕТРОВ ОБКАТЫВАНИЯ НА ОСТАТОЧНЫЕ НАПРЯЖЕНИЯ В ПОВЕРХНОСТНОМ СЛОЕ ДЕТАЛЕЙ МАШИН

Ивченко Т.Г., Бондаренко Д.В.
(ДонНТУ, г. Донецк, Украина)
Тел./Факс: +38 (062) 3050104;E-mail: tm@mech.dgtu.donetsk.ua

Abstract: *The method of determination of the technological remaining tensions in the superficial layer of detail at the rolling-off is developed, based on which character of distributing of the remaining tensions on the depth of detail is set. It is certain character and degree of influence of the machining regims on remaining tensions.*
Key words: *remaining tensions, superficial laye, rolling-off machining regims/*

Повышение требований к эксплуатационным свойствам деталей машин определяет необходимость совершенствования технологических процессов и улучшения качества их изготовления. Для этих целей весьма эффективно использование методов обработки поверхностным пластическим деформированием (ППД).

Наиболее распространены обкатывание и раскатывание, осуществляемые специальным инструментом, рабочими элементами которого являются шарики или ролики. При давлении рабочего элемента на обрабатываемую поверхность детали происходит ее локальное пластическое деформирование в месте контакта.

Основные закономерности формирования параметров поверхностного слоя при обработке ППД в настоящее время достаточно хорошо изучены [1, 2]. Однако основное внимание в этих работах уделяется исследованию параметров шероховатости обработанной поверхности, информация по оценке физико-механических свойств и, прежде всего, остаточных напряжений весьма ограничена.

В работах [3, 4] представлены сведения об определении остаточных напряжений в поверхностном слое при комбинированной обработке деталей машин совместным точением и обкатыванием, в том числе и по взаимосвязи остаточных напряжений с параметрами обработки и износостойкостью. Однако эти сведения не дают возможности рассмотреть отдельно каждый из методов обработки, поэтому представляет интерес дальнейшее расширение указанных исследований применительно к обкатыванию как к самостоятельной операции технологического процесса.

Целью представленной работы является исследование остаточных напряжений в поверхностном слое детали при обкатывании в зависимости от параметров обработки.

Поверхностный слой деталей машин при механической обработке формируется под влиянием силовых и температурных воздействий. Остаточные напряжения в поверхностном слое детали представляю собой алгебраическую сумму механических σ_M и температурных σ_T составляющих: $\sigma_O = \sigma_M + \sigma_T$.

Механические остаточные напряжения распределяются по глубине поверхностного слоя следующим образом [3]:

$$\sigma_M(y) = \frac{P}{\pi}\left[\frac{3}{2(r^2+y^2)} + \frac{1.2}{r^2}ln\left(\frac{y}{2r}\right) - \frac{0.3}{r^2}\right] = \frac{P}{S_K}\left[\frac{3}{2(1+\nu^2)} + 1.2\,ln\left(\frac{\nu}{2}\right) - 0.3\right], \quad (1)$$

где P - усилие обкатывания; r – радиус кругового поля контакта инструмента деталью; $S_K = \pi r^2$ – площадь контакта инструмента деталью; $\nu = y/r$ - безразмерная координата, характеризующая глубину поверхностного слоя.

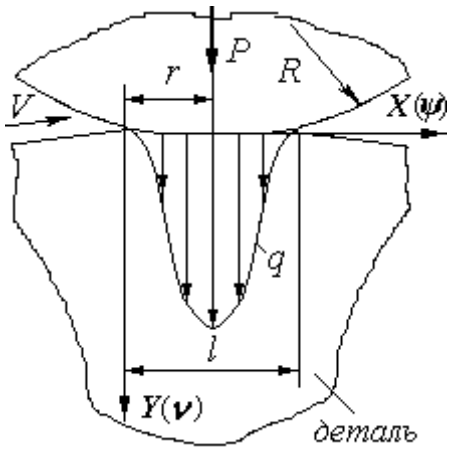


Рис. 1. Схема формирования теплового потока в детали при обкатывании

Принятая в расчетах схема обкатывания и схема формирования теплового потока q в детали представлена на рис. 1. Радиус кругового поля контакта инструмента деталью определяется как радиус пластического отпечатка при обкатывании в зависимости от исходной твердости обрабатываемого материала [1]: $r = (P/\pi HB_{исх})^{0,5}$.

Температурные остаточные напряжения определяются с учетом распределения температур по глубине поверхностного слоя $\Theta(y)$, а также свойств обрабатываемого материала - коэффициента линейного расширения α и модуля упругости E [1]: $\sigma_T = \alpha E \Theta(y)$.

Общая мощность источника теплоты определяется скоростью его перемещения V и усилием обкатывания P: $W=PV$. Доля теплоты, поступающая в деталь β, может быть определена следующим образом [5]:

$$\beta = 1 \Big/ \left[1 + 1{,}18(\lambda_u / \lambda)\sqrt{\omega / Vl} \Big/ \left(2{,}34 + ln\left(\omega_u \tau / l^2\right)\right) \right], \qquad (2)$$

где λ_u, λ, ω_u, ω – коэффициенты теплопроводности и температуропроводности инструмента и детали; V скорость перемещения источника; $l = 2r$ – размер полосового источника теплоты; τ - время действия источника.

Плотность теплового потока $q = PV\beta/S_K$.

На основании анализа температурного поля в поверхностном слое заготовки, возникающего в результате взаимодействия с инструментом под воздействием быстродвижущегося полосового источника теплоты, распределение температур по глубине поверхностного слоя описывается следующим образом [5]:

$$\Theta(y) = \frac{ql}{2\lambda\sqrt{\pi Pe}} \int_0^1 \frac{f(x_u)dx_u}{\sqrt{1-x_u}} exp\left(-\frac{Pe}{4} \cdot \frac{y^2}{1-x_u}\right), \qquad (2)$$

где $Pe = Vl/\omega$ - критерий Пекле; $f(\psi_u) = \exp[-3(x_u)^2]$ – нормальный закон распределения плотности теплового потока q.

Температурные остаточные напряжения

$$\sigma_T(y) = \frac{P}{S_K}\left[\frac{\alpha E V l \beta}{2\lambda\sqrt{\pi Pe}} \int_0^1 \frac{f(\psi_u)d\psi_u}{\sqrt{1-\psi_u}} exp\left(-\frac{Pe}{4} \cdot \frac{\nu^2}{1-\psi_u}\right)\right], \qquad (3)$$

где $\psi_u = x_u/l$– безразмерная координата.

Отношение P/S_K представляет собой размерный коэффициент, как в механических, так и в температурных остаточных напряжениях. Поэтому остаточные напряжения в поверхностном слое детали обкатыванием могут быть выражены через безразмерные составляющие следующим образом: $\sigma_{ОБ} = \sigma_{МБ} + \sigma_{ТБ}$. Представление остаточных напряжений в безразмерном виде позволяет устанавливать общие закономерногсти их формирования по глубине поверхностного слоя.

На рис. 2 представлены графики распределения безразмерных остаточных напряжений по глубине поверхностного слоя ν с учетом влияния скорости детали V при обкатывании. На основании выполненных расчетов установлено, что механические остаточные напряжения $\sigma_{МБ}$ являются сжимающими (имеют отрицательный знак и находятся ниже нулевой плоскости). Температурные напряжения $\sigma_{ТБ}$ являются растягивающими (имеют положительный знак и находятся выше нулевой плоскости).

При различных сочетаниях уровней температурных и механических составляющих суммарные остаточные напряжения могут быть растягивающими или сжимающими. Представленные на рис. 3 графики свидетельствуют о том, что при обкатывании в поверхностном слое имеют место сжимающие остаточные напряжения.

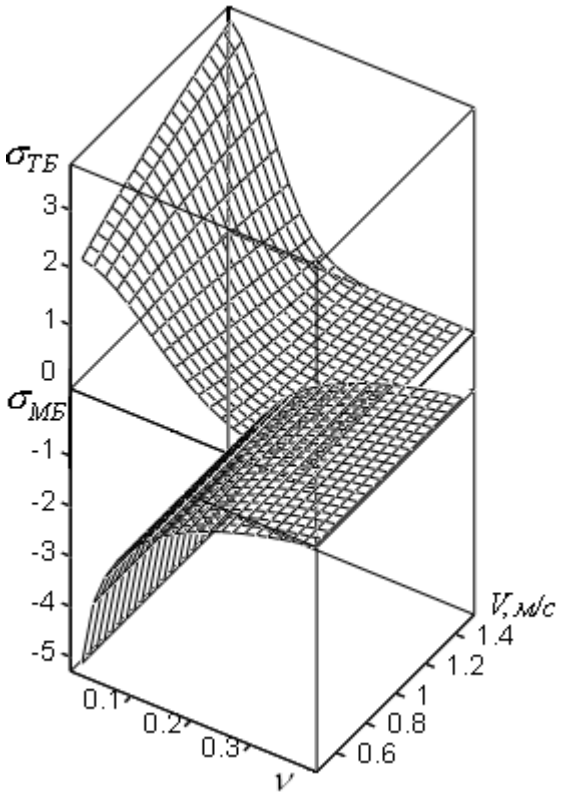


Рис. 2. Распределение безразмерных механических и температурных остаточных напряжений по глубине поверхностного слоя ν с учетом скорости V

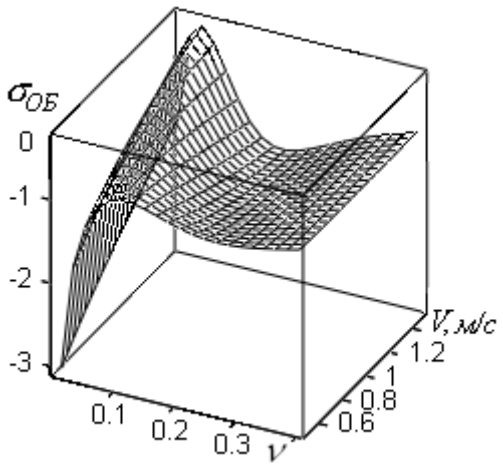


Рис.3. Распределение суммарных безразмерных остаточных напряжений по глубине поверхностного слоя ν с учетом скорости V

Установлено также, что безразмерные механические остаточные напряжения не зависят от скорости детали. Безразмерные температурные остаточные напряжения возрастают с увеличением скорости, однако, в достаточно широком диапазоне изменения, указанном на рис. 2 и рис. 3, они не превышают безразмерные механические. Поэтому суммарные остаточные напряжения в поверхностном слое при обкатывании остаются сжимающими (отрицательными).

Определяя для конкретных условий механообработки действующие силы и размеры площадки контакта, от безразмерного распределения остаточных напряжений легко перейти к их фактическому распределению. На рис. 4 представлены графики распределения остаточных напряжений по глубине поверхностного слоя при обкатывании для различных скоростей и усилий обкатывания.

Расчеты выполнены для следующих условий обработки: обрабатываемый материал – сталь 45 *НВ*280 (λ = 40,2 *Вт/м°С*; $\omega = 0{,}08\cdot10^{4} м^2/с$); инструментальный материал – сталь ШХ15 (λ = 33,4 *Вт/м°С*; $\omega = 0{,}065\cdot10^{-4} м^2/с$). Рассчитанные значения радиуса кругового поля контакта инструмента деталью r = 0,75мм; размер источника l = 1,5мм.

Установлено, что с увеличением скорости остаточные напряжения возрастают, изменяется характер их распределения и глубина залегания, однако во всем диапазоне изменения режимов для обкатывания имеют место сжимающие остаточные напряжения. С увеличением усилия обкатывания остаточные напряжения повышаются, так как растет общее тепловыделение и усиливается роль температурной составляющей.

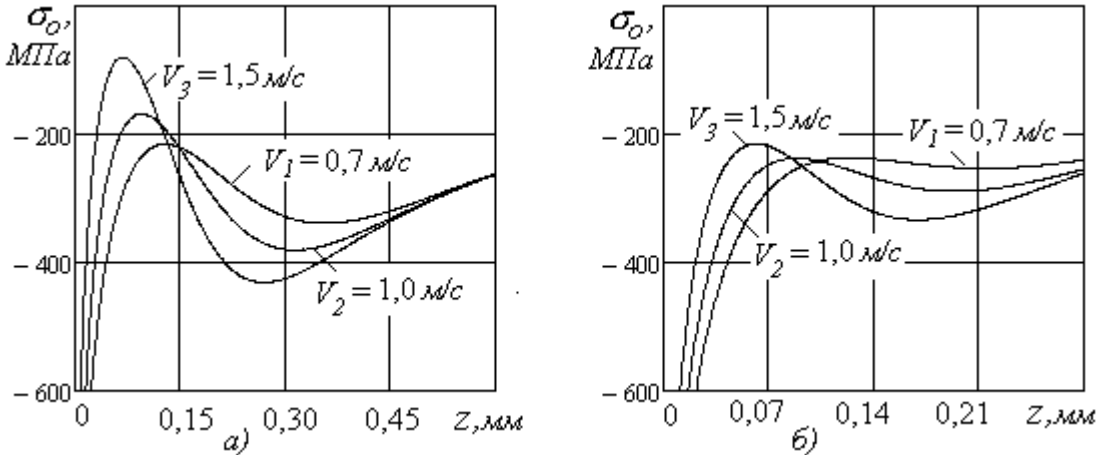


Рис. 4. Распределение остаточных напряжений по глубине поверхностного слоя при обкатывании для различных скоростей детали и различных усилиях обкатывания: P = 500Н – *а)*; P = 100Н –б)

Таким образом, разработана методика определения остаточных напряжений в поверхностном слое детали при обкатывании. Установлены общие закономерности их распределения по глубине детали с учетом как механической, так и температурной составляющих. Определены характер и степень влияния режимов обработки на остаточные напряжения. Обосновано возникновение в поверхностном слое детали благоприятных остаточных напряжений сжатия для достаточно широкого диапазона параметров обкатывания.

На основании разработанной методики определения остаточных напряжений в поверхностном слое детали при обкатывании могут быть регламентированы рациональные режимы обработки, обеспечивающие заданный уровень остаточных напряжений. Методика может быть применена для различных методов обработки ППД.

Список литературы: 1. Инженерия поверхностей деталей / под ред. А.Г. Суслова. - М.: Машиностроение, 2008. - 320с. **2.** Безъязычный, В.Ф. Метод подобия в технологии машиностроения / В.Ф. Безъязычный. - М.: Машиностроение, 2012. - 320 с. **3.** Ивченко, Т.Г., Анализ влияния поверхностных остаточных напряжений на износостойкость деталей при комбинированной обработке / Т.Г. Ивченко, П.Р. Брадулов // Известия ЮФУ. Материалы 15 международной научно-практической конференции «Практика и перспективы развития партнерства в сфере высшей школы». – Таганрог: ЮФУ. 2014. - № 14. – С.116 - 121. **4.** Ивченко, Т.Г. Обоснование области рационального применения комбинированной обработки точением и поверхностным пластическим деформированием / Т.Г. Ивченко, И.В. Кисиленко // Прогрессивные технологии и системы машиностроения. – Донецк: ДонНТУ. - 2018. - № 1 (60) . – С. 148-155. **5.** Резников, А.Н. Тепловые процессы в технологических системах / А.Н. Резников, Л.А. Резников. - М.: Машиностроение, 1990. – 288 с.

ОБОСНОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ БЕСКЕРНОВОГО БУРЕНИЯ СКВАЖИН УСТАНОВКАМИ СЕРИИ УМБ-130

Каракозов А. А., Парфенюк С. Н.
(Донецкий национальный технический университет, г. Донецк, ДНР)
E-mail: karakozov@donntu.org, artur.a.karakozov@mail.ru

Abstract: *The results of the development of technologies for drilling geological engineering wells during the development of offshore oil and gas fields, based on the use of water driven hammer drilling tools, are presented. Results of computer simulation of water flow inside drilling tools also presented. The proposed technologies allow to improve drilling using casingless drilling, which makes it possible to carry out engineering geological surveys in the absence of a specialized drilling fleet.*
Keywords: *shelf, development of oil and gas fields, engineering and geological surveys, drilling, flow simulation, sampling.*

В настоящее время осуществляется активное освоение углеводородных ресурсов Азовского моря и шельфа Чёрного моря, имеющих для Крыма жизненно важное значение – их запасы могут обеспечить не только потребности промышленности, но и жилищно-коммунального хозяйства полуострова. Для успешной разведки, разработки и эксплуатации шельфовых месторождений необходимо выполнение больших объёмов инженерно-геологических изысканий для обеспечения работы буровых платформ, сооружения морских добычных объектов и трубопроводов.

При инженерно-геологических изысканиях на газовых месторождениях Чёрного и Азовского морей бурение скважин глубиной до 50 метров выполняется установками УМБ-130 и УМБ-130М. Технологическая схема проходки скважин (рис. 1) подразумевает чередование бескернового и колонкового способов бурения [1]. На фазе 1 отбирается керн из верхнего интервала пород, на фазе 2 размываются обрушившиеся породы верхнего интервала, а на фазе 3 отбирается керн из нижележащего неопробованного интервала. Затем фазы 2 и 3 повторяются до тех пор, пока скважина не достигнет проектной глубины.

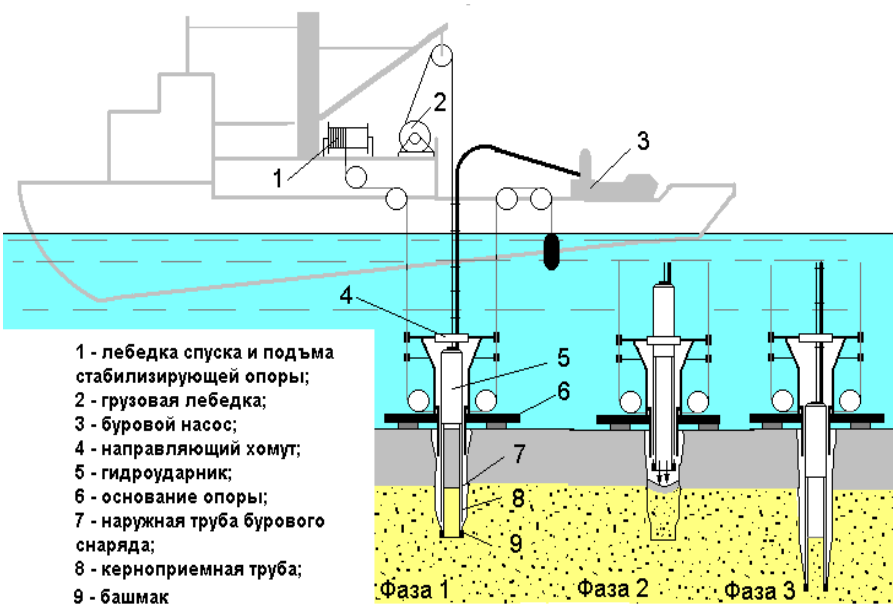
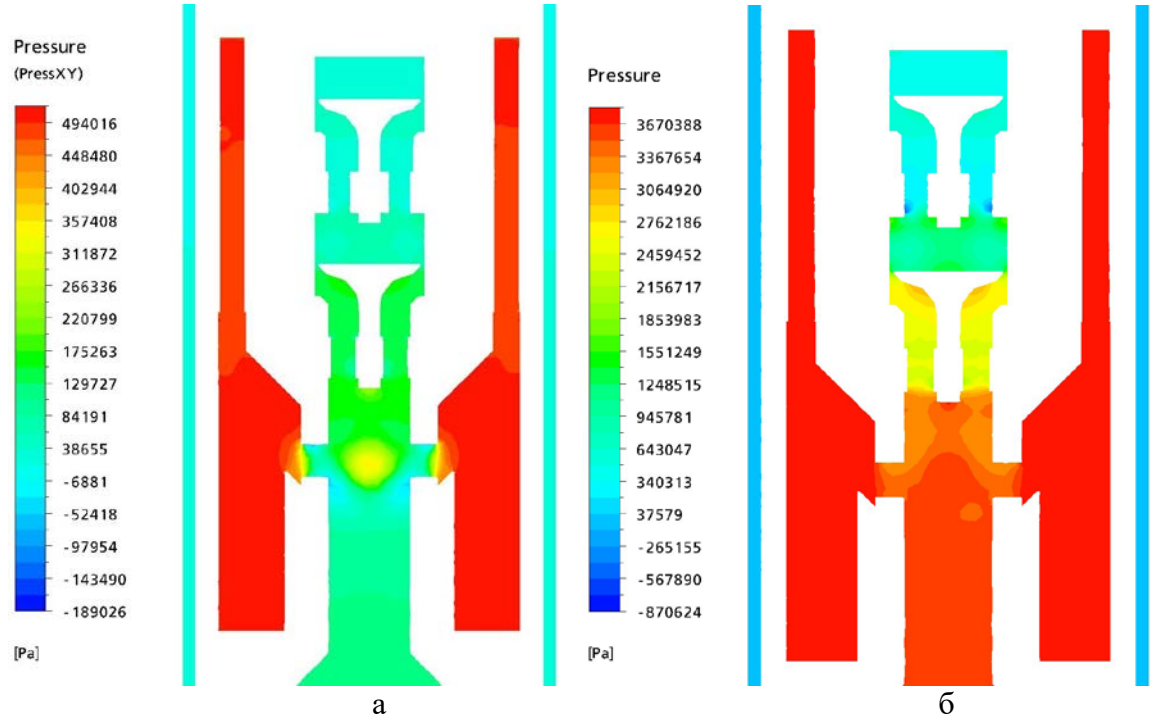


Рис. 1. Технологическая схема бурения скважин установкой УМБ-130М

При этом бескерновое бурение наиболее эффективно может осуществляться за счёт

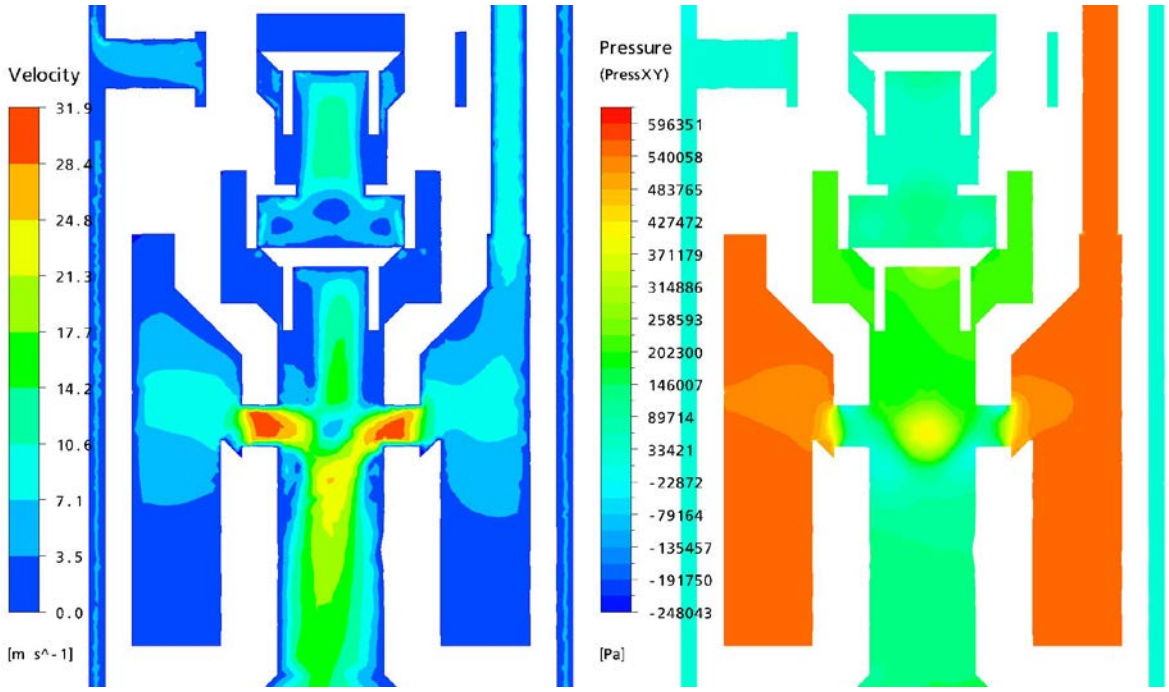
комбинирования гидравлического разрушения забоя скважины с механическим воздействием на забой: буровой снаряд сбрасывается на забой, внедряется в породу, а затем поднимается над забоем, и порода, разрушаясь, вымывается из снаряда. Таким образом, реализуется разновидность так называемого «клюющего» бурения, довольно распространённого при бурении инженерно-геологических скважин на суше, имеющего достаточно подробное теоретическое обоснование [2, 3]. Однако эти модели не могут быть использованы для условий бурения на море, поскольку не учитывают циркуляцию промывочной жидкости в скважине вследствие непрерывной подачи жидкости в буровой снаряд. Это обуславливает наличие сил гидравлического подпора, тормозящих движение снаряда как при его падении, так и при внедрении в породу. Следует также учесть, что в конструкции буровых снарядов имеется насосный блок для создания обратной промывки в керноприёмной трубе при отборе керна. Поэтому при бескерновом бурении, когда жидкость подаётся на забой через керноприёмную трубу, часть её сбрасывается в скважину через насосный блок. Эти утечки необходимы для внедрения снаряда в забой, но перераспределение потоков жидкости в снаряде при его движении к забою изменяет силы гидравлического подпора. Оценка этих сил может быть получена по результатам моделирования течения жидкости в снаряде для применяемых конструкций насосного блока.

Для каждой конструкции насосного блока методом конечных элементов моделировалось течение жидкости при различных подачах, положениях насосных клапанов, зазорах между башмаком и забоем, параметрах кернорвателя. Максимальная подача жидкости – 600 л/мин, что соответствует реальным условиям эксплуатации установок. В результате получены графические зависимости распределения скоростей и давлений в насосном блоке и колонковом наборе. Примеры моделирования для максимального расхода жидкости представлены на рис. 2 и 3.



а б

Рис. 2. Примеры графических зависимостей распределения давлений в насосном блоке бурового снаряда: *а* – расстояние между башмаком и забоем 0,1 м; *б* – при контакте башмака с забоем



а *б*

Рис. 3. Примеры графических зависимостей распределения скоростей и давлений в другой конструкции насосного блока: *а* – распределение скоростей; *б* – распределение давлений (расстояние между башмаком и забоем 0,005 м)

По результатам моделирования определяются коэффициенты гидравлических сопротивлений для каждого насосного блока, необходимые для определения силы сопротивления, обусловленной гидравлическим подпором. Также оцениваются утечки через насосный блок, что необходимо для определения диаметра той части скважины, которая формируется при размыве вдоль поверхности колонкового набора.

В табл. 1 и 2 приведены некоторые результаты моделирования насосных блоков при расходе жидкости 600 л/мин (табл. 1 – для насосного блока по рис. 2, а табл. 2 – для насосного блока по рис. 3).

Таблица 1. Результаты моделирования насосного блока по рис. 2

№ п/п	Расстояние до забоя, мм	Расход через насосный блок, л/с	Давление: максимальное / в колонковой трубе, МПа	Усилие подпора жидкости, кН
1	100	2,42 (24,2%)	0,505/0,154	1,16
2	5	2,78 (27,8%)	0,513/0,170	1,28
3	3	3,49 (34,9%)	0,533/0,195	1,47
4	1	4,19 (41,9%)	0,746/0,385	2,90
5	0	10 (100%)	3,81/3,34	25,19

Таблица 2. Результаты моделирования насосного блока по рис. 3

№ п/п	Расстояние до забоя, мм	Расход через насосный блок, л/с	Давление: максимальное / в колонковой трубе, МПа	Усилие подпора жидкости, кН
1	100	2,35 (23,5%)	0,566/0,151	1,13
2	5	2,42 (24,2%)	0,586/0,169	1,27
3	3	2,58 (25,8%)	0,62/0,188	1,42
4	1	3,08 (30,8%)	0,706/0,257	1,94
5	0	10 (100%)	3,47/2,91	21,95

Анализ результатов моделирования позволяет сделать следующие выводы.

1. При прочих равных условиях более высокие значения перепада давления в насосном блоке при постановке снаряда на забой соответствуют конструктивной схеме по рис. 2. При расходе жидкости 600 л/мин это превышение составляет 14%.

2. Для расхода жидкости 600 л/мин при уменьшении зазора между торцом бурового снаряда и забоем от 100 до 3 мм усилие подпора жидкости повышается не более чем на 25%. При дальнейшем смыкании зазора усилие подпора возрастает в 15-17 раз.

3. При постановке бурового снаряда на забой усилие подпора жидкости значительно (не менее чем в три раза) превышает вес бурового снаряда даже при подаче 360 л/мин, что существенно тормозит снаряд при внедрении в породу. При подаче 600 л/мин усилие подпора превышает вес бурового снаряда в семь раз.

4. Разница расчётных и фактических утечек жидкости через насосные блоки находится в пределах 9-22%, причём большие расхождения соответствуют применению в насосном блоке пружин, которые не учитывались при моделировании.

С учётом полученных данных моделировалось движение бурового снаряда в скважине при «клюющем» бурении. Схема движения бурового снаряда в скважине приведена на рис. 4.

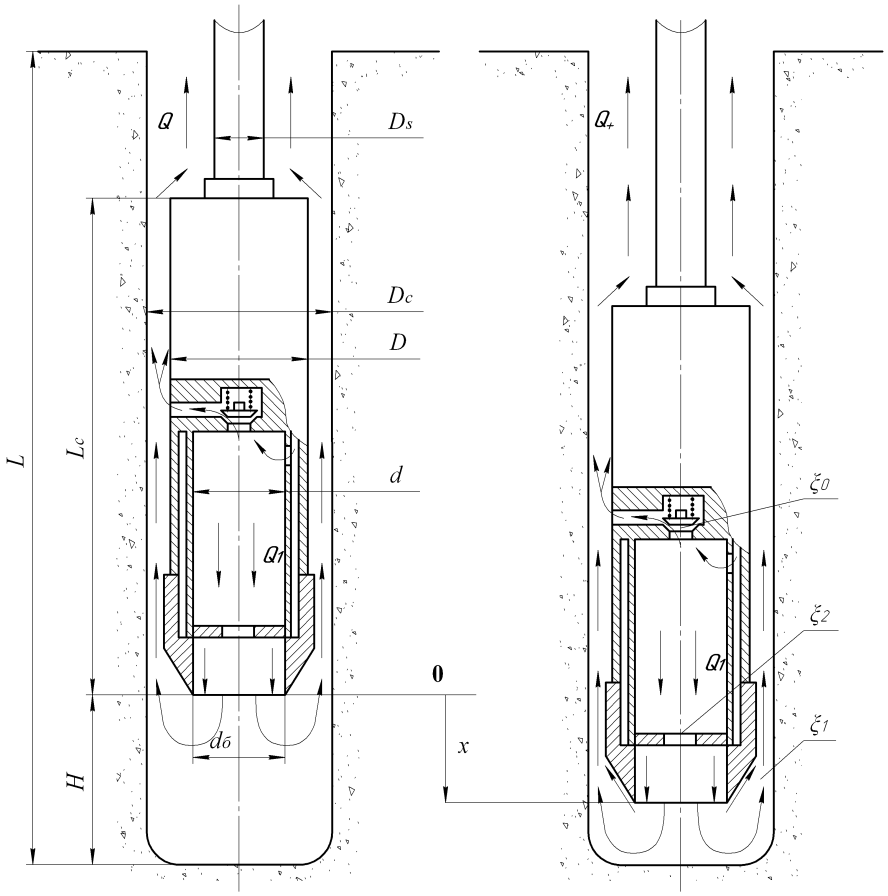


Рис. 4. Схема движения бурового снаряда в скважине

С учётом принятых допущений дифференциальное уравнение движения бурового снаряда может быть приведено к простому виду:

$$(m + m_1 / 2)\ddot{x} = kmg - P_g\,, \qquad (1)$$

где m – масса бурового снаряда с учётом масс нагнетательного шланга (НШ) и грузового каната (ГК); x – координата нижнего торца бурового снаряда; m_1 – масса барабана лебёдки; k – коэффициент, учитывающий снижение веса из-за погружения снаряда, НШ

и ГК в жидкость; g – ускорение свободного падения; P_{g} – сила сопротивления движению, обусловленная гидравлическим подпором.

Сила P_{g} может быть определена по следующей формуле:

$$P_g = \frac{\lambda_1 L_k \rho Q_1^2}{2dF_k^2} F_k + \zeta_1 Q_1^2 F_{kr} + \left(\zeta_2 \frac{\rho(Q_1 + \dot{x}F_c)}{2F_z^2} + \frac{\lambda_2 L_k \rho(Q_1 + \dot{x}F_c)}{2(D_c - D)F_z^2} + \right.$$
$$\left. + \frac{\lambda_3 (L_c - L_k)\rho(Q + \dot{x}F_c)}{2(D_c - D)F_z^2} \right) F_c + \left(\frac{\lambda_4 (L - L_c - H + x)\rho(Q + \dot{x}F_s)}{2(D_c - D_s)F_{z1}^2} \right)(F_c - F_s) \quad (2)$$

где λ_1, λ_2, λ_3, λ_4 – коэффициент гидравлических сопротивлений, соответственно, в керноприёмной трубе, в кольцевых зазорах между колонковым набором и скважиной, между гидроударником и скважиной, между нагнетательным шлангом и скважиной; L_c, L_k – соответственно, длина бурового снаряда и колонкового набора; ρ – плотность жидкости; Q_1 – расход жидкости в керноприёмной трубе; d, D, D_c, D_s – соответственно, внутренний диаметр керноприёмной трубы, наружный диаметр бурового снаряда, диаметр скважины, диаметр нагнетательного шланга; F_k, F_{kr}, F_c, F_z, F_{z1} – площадь, соответственно, канала керноприёмной трубы, проходного сечения кернорвателя, поперечного сечения бурового снаряда, кольцевых зазоров между буровым снарядом и скважиной, нагнетательным шлангом и скважиной; ζ_1, ζ_2 – соответственно, коэффициенты местных гидравлических сопротивлений в кернорвателе ($4{,}8 \cdot 10^8 \div 1{,}8 \cdot 10^9$) и при истечении из керноприёмной трубы в кольцевой зазор между буровым снарядом и скважиной; Q – подача жидкости; L – глубина скважины; H – высота подъёма башмака над забоем (высота сбрасывания).

Коэффициенты гидравлических сопротивлений λ для турбулентного течения жидкости на каждом расчётном участке определяются по известной формуле [4]:

$$\lambda = 0{,}3164/(VD_e/\nu)^{0,25}, \quad (3)$$

где V – скорость течения жидкости на расчётном участке; D_e – эквивалентный диаметр расчётного участка; ν – кинематическая вязкость жидкости.

Они непостоянны при перемещении бурового снаряда, поскольку зависят от переменных величин – его скорости и расхода жидкости в керноприёмной трубе Q, который в каждый конкретный момент времени можно найти из следующего условия:

$$\frac{\lambda_1 L_k \rho Q_1^2}{2dF_k^2} + \zeta_1 Q_1^2 + \zeta_2 \frac{\rho(Q_1 + \dot{x}F_c)}{2F_z^2} + \frac{\lambda_2 L_k \rho(Q_1 + \dot{x}F_c)}{2(D_c - D)F_z^2} = \zeta_0 (Q - Q_1), \quad (4)$$

где ζ_0 – коэффициент местного гидравлического сопротивления насосного блока (по результатам моделирования $\zeta_0 = 2{,}9 \cdot 10^{10} \div 3{,}7 \cdot 10^{10}$).

Численно решая дифференциально-алгебраическую систему уравнений (1) и (4), получаем уравнение движения бурового снаряда и определяем скорость его соударения с забоем, необходимую для определения глубины внедрения башмака в горную породу. Схема движения бурового снаряда на фазе внедрения в породу показана на рис. 5, при этом дифференциальное уравнение движения бурового снаряда имеет вид:

$$m\ddot{x} = kmg - P_c - \zeta_0 (Q + \dot{x}F_b)^2, \quad (5)$$

где P_c – сила сопротивления внедрению башмака в забой; F_b – площадь проходного сечения башмака.

Решение уравнения (5) позволяет найти глубину внедрения бурового снаряда в горную породу при «клюющем» бурении с учётом особенностей технологических схем и конструкций буровых снарядов установок УМБ-130 и УМБ-130М.

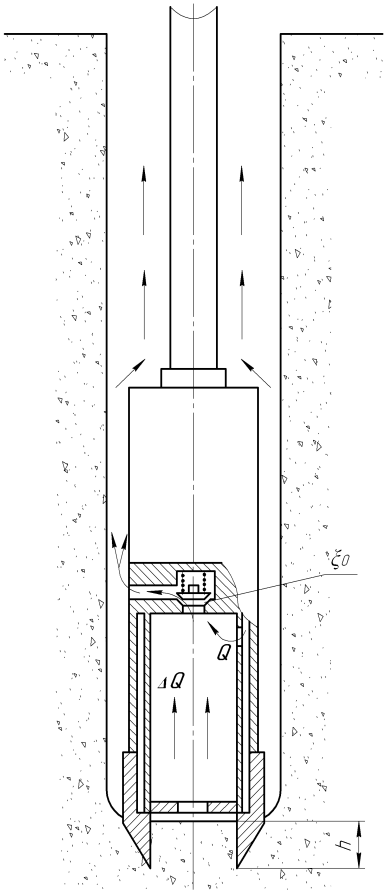


Рис. 5. Схема внедрения бурового снаряда в породу

На основе разработанной математической модели были проведены расчёты для буровых снарядов диаметром 127 мм с длиной колонкового набора от 2 до 6 метров. При этом варьировались параметры горных пород, глубина скважины, подача промывочной жидкости (360-600 л/мин). Диаметр скважины, формирующейся при размыве пород, определялся по методике, предложенной И.А. Юшковым [5]. Максимальная высота сбрасывания снаряда ограничивалась величиной 8 м, обусловленной параметрами грузоподъёмных систем судна-носителя.

В табл. 3 и 4 приведены результаты моделирования движения бурового снаряда с колонковыми наборами различной длины и внедрения его в грунт при подаче жидкости 450 л/мин (наиболее используемой на практике). В табл. 5 и 6 приведены результаты для бурового снаряда с колонковым набором длиной 6 м при разных подачах жидкости и глубинах скважин. Пределы изменения диаметра скважины рассчитаны для разновидностей рассматриваемой породы различной прочности. Под критической высотой сбрасывания подразумевается такая высота, при превышении которой не происходит увеличения скорости бурового снаряда, в противном случае – 8 м. Максимальная скорость снаряда рассчитана на расстоянии 5 мм от забоя.

Таблица 3. Результаты моделирования движения бурового снаряда при подаче жидкости 450 л/мин (в зависимости от длины колонкового набора)

№ п/п	Порода	Диаметр скважины, мм	Критическая высота сбрасывания, м / Максимальная скорость снаряда, м/с				
			2 м	3 м	4 м	5 м	6 м
1	Песок	181	8/9,3	8/9,4	8/9,4	8/9,4	8/9,2
		207	8/10,2	8/10,2	8/10,3	8/10,3	8/10,4
2	Супесь	150	2/2.1	2/2,1	2/2,2	1,9/2,2	1,7/2,2
		182	8/9,4	8/9,4	8/9,4	8/9,5	8/9,4
3	Суглинок	141	0,2/0,45	0,2/0,48	0,25/0,49	0,3/0,52	0,4/0,54
		158	8/4,5	8/4,5	6,5/4,5	6/4,5	5,5/4,5
4	Глина	139	0,1/0,22	0,1/0,24	0,2/0,26	0,2/0,28	0,2/0,3
		167	8/7,3	8/7,3	8/7,3	8/7,3	8/7,2

Таблица 4. Глубина внедрения в породу (h) башмака снаряда при подаче жидкости 450 л/мин (при сопротивлении породы на забое 69 кН/16 кН и глубине скважины 50 м)

№ п/п	Порода	Диаметр скважины, мм	Длина колонкового набора, м				
			2 м	3 м	4 м	5 м	6 м
1	Песок	181/207	32/39	34/42	36/45	38/49	39/52
2	Супесь	150/182	11/38	12/40	12/43	13/45	14/49
3	Суглинок	141/158	1,9/24	2,2/26	2,5/27	2,7/29	3/30
4	Глина	139/167	0,6/33	0,8/35	0,9/37	1,1/39	1,3/41

Таблица 5. Результаты моделирования движения бурового снаряда с длиной колонкового набора 6 м (в зависимости от глубины скважины и подачи жидкости)

№ п/п	Порода	Критическая высота сбрасывания, м / Максимальная скорость снаряда*, м/с		
		20 м, 450 л/мин	50 м, 450 л/мин	50 м, 600 л/мин
1	Песок	8/9	8/9,2	8/10
		8/10,1	8/10,4	8/10,6
2	Супесь	2/1,9	1,7/2,2	7/4
		8/9,1	8/9,4	8/10
3	Суглинок	0,2/0,43	0,4/0,54	0,7/1,15
		7,5/4	5,5/4,5	8/6,8
4	Глина	0,1/0,2	0,2/0,25	0,5/0,63
		8/6,7	8/7,2	8/9

Таблица 6. Глубина внедрения в породу (h) башмака снаряда с длиной колонкового набора 6 м (при сопротивлении породы на забое 69 кН/16 кН)

№ п/п	Порода	Глубина скважины, подача жидкости		
		20 м, 450 л/мин	50 м, 450 л/мин	50 м, 600 л/мин
1	Песок	32/41	39/52	38/45
2	Супесь	10/39	14/49	20/44
3	Суглинок	1,8/23	3/30	5,6/34
4	Глина	0,6/33	1,3/41	2,6/41

Анализ результатов моделирования позволяет сделать следующие выводы.

1. «Клюющее» бурение снарядами диаметром 127 мм эффективно в породах, обеспечивающих размыв скважины до диаметра не менее 150 мм. При меньших диаметрах скважины его эффективность резко снижается, механическое рыхление забоя становится незначительным. Поэтому для бурения в породах, устойчивых к размыву, рекомендуется разработка новых буровых снарядов, обеспечивающих его взаимодействие с забоем при сниженном усилии подпора жидкости. Внедрение в породу может обеспечиваться как за счёт гидроударника, так и «клюющим» способом.

2. Изменение длины колонкового набора незначительно влияет как на критическую высоту сбрасывания, так и на максимальную скорость снаряда при бурении в породах, обеспечивающих размыв стенок скважины более 150 мм.

3. Предпочтительнее использование лёгких буровых лебёдок со свободным спуском инструмента и малой массой барабана, т.е. необходимо ограничивать запас каната на барабане в соответствии с условиями бурения. «Клюющее» бурение неэффективно при использовании лебёдок с ограничением по скорости сматывания каната с барабана менее 1,5 м/с.

Полученные результаты позволили обосновать технологию бескернового бурения установками серии УМБ-130, прошедшую успешную апробацию при выполнении работ на объектах ГАО «Черноморнефтегаз» в Чёрном и Азовском морях.

Список литературы: 1. Калиниченко, О. И. Гидроударные буровые снаряды и установки для бурения скважин на шельфе / О. И. Калиниченко, П. В. Зыбинский, А. А. Каракозов. – Донецк : «Вебер» (Донецкое отделение), 2007. – 270 с. 2. Ребрик, Б. М. Справочник по бурению инженерно-геологических скважин / Б. М. Ребрик. – М.: Недра, 1983. – 288 с. 3. Ребрик, Б. М. Механика в разведочном бурении / Б. М. Ребрик. – М.: Недра, 1992. – 301 с. 4. Ивачёв, Л. М. Промывка и тампонирование геологоразведочных скважин: Справочное пособие. – М.: Недра, 1989. – 247 с. 5. Юшков, И. А. Обоснование технологических параметров многорейсового поинтервального бурения подводных скважин погружными установками : дис. ... канд. техн. наук : 05.15.10 / И. А. Юшков. – Донецк : ДонНТУ, 2004. – 194 с.

ВЛИЯНИЕ ЛАЗЕРНОЙ ТЕРМООБРАБОТКИ НА ОСТАТОЧНЫЕ НАПРЯЖЕНИЯ САМОФЛЮСУЮЩИХСЯ СПЛАВОВ ЦВЕТНЫХ МЕТАЛЛОВ

Кардаполова М.А., Косякова И.М., Болдуева А.А., Николаенко В.Л.
(БНТУ, г. Минск, Республика Беларусь)
Тел./Факс: +375 (17) 3310045; E-mail: scvdmed@bntu.by

Abstract: *The influence of the reflow method (volumetric and local) and the phase composition of coatings of the Ni-Cr-B-Si system on the residual stresses is studied. Residual stresses of the I-th series were measured in the metal component of coatings by x-ray diffraction analysis and the calculated method of elastic deformation of the coating, as a result of differences in the values of thermal compression of the base metal coating after crystallization of the coating.*

Key words: *Residual stresses, quasieutectics, deflection, laser fusion, laser alloying, self-fluxing alloys*

Самофлюсующиеся никелевые сплавы находят большое применение для восстановления – упрочнения широкой номенклатуры деталей благодаря высокой коррозионной и износостойкости [1]. Гранулированный порошок сплава наносят на подготовленную основу методами газотермического напыления с последующим оплавлением слоя. Состав сплава обеспечивает сравнительно низкую температуру плавления (≈ 1300 К) и образование монолитного соединения с основой.

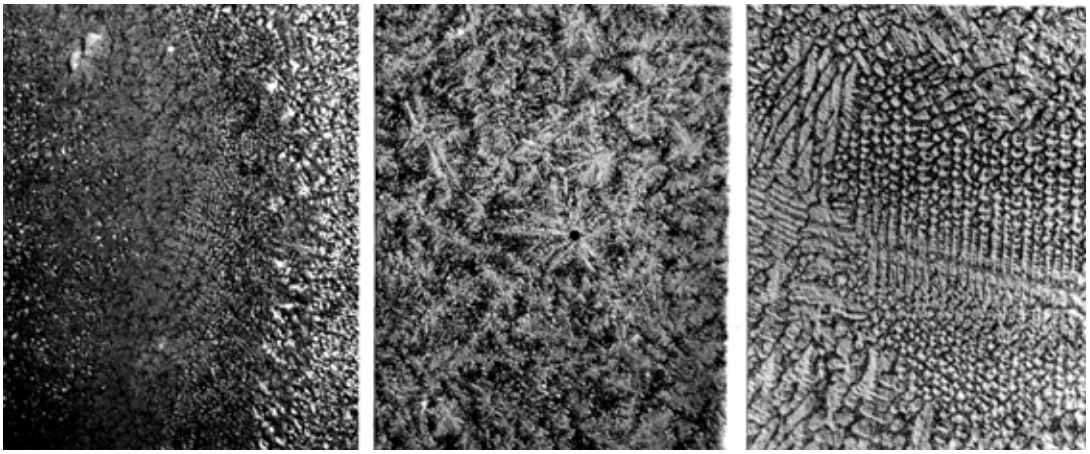
Использование для оплавления слоя локального источника нагрева (лазерного луча) позволило восстанавливать ряд деталей – крупногабаритных, тонкостенных, сложной конфигурации, оплавление которых традиционными способами приводило к появлению коробления, разупрочнения основы и т.д.

Однако, при значительном градиенте температур, вызванным большими скоростями нагрева и охлаждения и локальности обработки, в верхних слоях покрытий возникают значительные зональные термические напряжения. Величина этих напряжений, которые вызывают коробление детали и трещины, зависит не только от скорости охлаждения, но и от величин коэффициентов термического расширения покрытия и основы (КТР), усадки сплава, его свойств (пластичности и теплопроводности).

Самофлюсующиеся сплавы структурно чувствительны к температурным изменениям. После оплавления локальным источником нагрева матрица (γ - никель) имеет период решетки на 20 -25 % больше, чем после оплавления объемным источником нагрева. Структура состоит из γ-Ni (40-60%), боридов хрома Cr_2B, боридов никеля Ni_3B, которые находятся в виде пластинчатой эвтектики (γ -Ni + Ni_3B) и карбидов хрома, составляющих, в основном, квазиэвтектику (γ -Ni + Cr_3C_2). Коэффициенты термического расширения фазовых составляющих колеблются в широких пределах, а фазовый состав покрытий зависит от режимов локальной обработки (Рис.1).

Целью исследования является изучение зависимости остаточных напряжений от фазового состава сплава.

Методика исследований. Самофлюсующийся сплав ПГ-СР3 (ГОСТ 21448-75) , который дополнительно легировали на стадии плазменного напыления в виде механических смесей (до 30 % об. Cr_3C_2) и на стадии оплавления в виде предварительного нанесения на напыленное покрытие обмазок на основе аморфного бора и окиси хрома, наносили на цилиндрические образцы стали Ст3 диаметром 20 и высотой 10 мм. Толщина покрытия была меньше толщины образца на 1,5… 2 порядка, что исключает деформацию образца в результате действия напряжений. Оплавление покрытий



а) б) в)

Рис. 1. Микроструктура самофлюсующегося сплава ПГ+СРЗ после различных режимов оплавления лучом лазера: а) – D = 1 мм; V = 1,6 мм/с; б) – D = 2 мм; V =3,3 мм/с; в) – D = 1 мм; V = 0,5 мм/с, х 500

производили с использованием лазерной установки «Комета 2» мощностью 800 Вт. Для сравнения часть покрытий оплавляли пламенем горелки. Остаточные напряжения I-го ряда измеряли в металлической составляющей покрытий методом рентгеноструктурного анализа. Одновременно изучали фазовый анализ покрытий. Расчет остаточных напряжений производили по формуле простой обратной съемки:

$$(\sigma_1 + \sigma_2) = -\frac{\Delta\alpha}{\alpha} \cdot \frac{E}{\mu} = \frac{\alpha_{эт.} - \alpha_{напр.}}{\alpha_{эт.}} \cdot \frac{E}{\mu},$$

где $\sigma_1 + \sigma_2$ — сумма главных напряжений в плоскости, параллельной поверхности покрытия, МПа;

$\alpha_{эт.}$, $\alpha_{напр.}$ — экстраполированный период решетки ненапряженного эталона и твердого раствора γ *-Ni* в покрытии, нм.;

E — модуль Юнга, μ — коэффициент Пуассона твердого раствора.

Таким образом, результатом расчета явились величины главных напряжений, действующих в объеме, не превышающем глубины поглощения рентгеновских лучей (не более 10 мкм), в плоскости, параллельной поверхности образца. При этом можно оценить изменение напряженного состояния в зависимости от направления движения лазерного луча.

Расчет периода решетки производили методом экстраполяции с использованием метода наименьших квадратов по программе PERCUB, входящей в состав пакета программ «ARSANAL». Средняя квадратичная погрешность составляла ± 0,01 нм, таким образом, напряжения определены с погрешностью ± 40…50 МПа.

Смещение линий никеля на рентгенограмме наблюдалось под действием двух факторов: остаточных напряжений и легирования твердого раствора в процессе лазерного оплавления. Ненапряженным эталоном мог бы служить только материал каждого из исследуемых покрытий, отделенный от подложки, приведенный в ненапряженное состояние, но полностью сохранивший отличия своего состава от прочих сплавов. Поэтому плоский торец цилиндрического образца после термообработки подвергали обточке твердосплавным резцом таким образом, чтобы периферийная часть покрытия шириной 4 мм была превращена в хрупкую стружку, которую просеивали через сито с ячейкой 0,2 мм для исключения в эталоне крупных частиц пластически деформированного металла.

Съемку производили на дифрактометре Дрон – 3,0 в медном излучении с графитовым монохроматором. Сплавы снимали до получения восьми линий никеля (последняя (420), Θ свыше 76 град).

Результаты и их обсуждение. После газопламенного оплавления покрытия ПГ-СР3 объемное охлаждение приводит к росту в сплаве эвтектических колоний (Рис.2). Равномерная усадка сплава и небольшая разница КТР покрытия и подложки приводят к появлению небольших (до 90 МПа) растягивающих напряжений. Введение карбида хрома в механическую смесь создает в покрытии значительные остаточные напряжения сжатия (до – 580 МПа), что должно положительно отразиться на работоспособности покрытия.

Уровень остаточных напряжений после лазерного оплавления самофлюсующихся сплавов существенно зависит от энергии лазерного луча. При кинжальном проплавлении основы (рис. 1,в) напряжения минимальные, в основном, сжимающие. Если оплавление ведется без проплавления основы, то уровень остаточных напряжений тем больше, чем меньше диаметр лазерного пятна и скорость движения детали относительно пятна, причем, это проявляется в более значительной степени поперек дорожек движения луча.(Рис.1,а.б).

Введение в состав покрытия вещества, обладающего более высоким КТР, чем твердый раствор на основе никеля (КТР $Cr_3\ C_2$ =11,7·10^{-6} 1/град, КТР никеля ─ 7·10^{-6} 1/град) приводит к появлению значительных растягивающих напряжений, которые не достигают опасных значений, за исключением напряжений в покрытии, оплавленном при неблагоприятном сочетании медленного перемещения луча и большой ширины дорожки.

Введение аморфного бора на стадии оплавления в виде предварительно нанесенной на напыленное покрытие легирующей обмазки способствует образованию дополнительного количества легкоплавкой эвтектики γ -Ni+$Ni_3\ B$. Свободно перемещаясь между дендритами твердого раствора эвтектическая смесь заполняет пустоты, «залечивает» образовавшиеся при скоростных процессах трещины. Обладая поверхностно-активными свойствами, бор не только снижает трещинообразование, но и значительно уменьшает шероховатость, что позволяет для некоторых деталей отказаться от дорогостоящей окончательной обработки.

Бор легирует γ -Ni, упрочняя его и увеличивая прочность сплава. Использование легирующей обмазки, включающей смесь аморфного бора и окиси хрома Cr_2O_3 грануляцией до 10 мкм позволяет, кроме вышеперечисленных преимуществ, повысить в 2…3 раза износостойкость покрытия. Часть окиси восстанавливается бором до металлического хрома, образуя дополнительное количество борида хрома Cr_2B. Наличие в покрытии больших количеств веществ с КТР, превышающим КТР никеля, приводит к возникновению растягивающих напряжений, близких к пределу прочности самофлюсующегося сплава. Значение остаточных напряжений растяжения, получаемых в результате подобных измерений (охватывающих поверхность, намного превышающую поверхность одного зерна или кристаллита), не могут превышать предела прочности исследуемого материала (точнее, его металлической матрицы ─ легированного никеля). Реальные напряжения, созданные различием КТР подложки и покрытия (при объемном нагреве) и усадкой сплава в сочетании с различием КТР подложки и покрытия (при локальном нагреве) могли быть значительно больше измеренных, но их

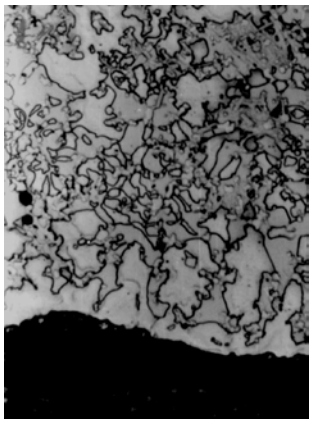


Рис. 2. Микроструктура сплава ПГ-СР3 после газопламенного оплавления, х 500

превышение над пределом прочности реализовалось в процессе охлаждения покрытия после лазерной обработки в форме микроразрушения, т.е. образования системы микротрещин. Самофлюсующийся сплав, в котором матрица недостаточно упрочена, покрываются сетью трещин, т. к. предел прочности на растяжение поликристаллического никеля составляет от 345 до 560 МПа [1].

Рентгеновский фазовый анализ покрытий позволил определить природу влияния фазового состава покрытия на уровень остаточных напряжений в виде корреляционного анализа (табл. 1).

Таблица 1 - Коррелирующие факторы и коэффициенты корреляции для покрытий на никелевой основе (ЛО–лазерное оплавление, ГО–газопламенное оплавление)

Состав покрытия, способ оплавления	Сумма главных напряжений, МПа	Объемный % фаз в покрытии			
		Металлическая составляющая	Бориды никеля	Бориды хрома	Карбиды хрома
1	2	3	4	5	6
1. ПГ-СР3 (ЛО)	-250	39,5	52,3	1,5	6,7
2. ПГ-СР3 + 30% Cr_3C_2 (ГО)	-580	45	36,2	3,8	15
3.ПГ-СР3, (ГО)	+80	27,4	45,9	16,1	1,8
4.ПГ-СР3 + 30% Cr_3C_2, (ЛО)	+150	51	25,6	11,3	12,1
5. ПГ-СР3 с обмазкой: Cr_2O_3 + Вам. (ЛО)	+510	38,5	31	17,5	0
Корреляция, с фактором 1	α	0,05	0,05	0,05	0,1
	τ табл.	0,896	0,896	0,896	0,775
	τ опытн.	-0,200	-0,402	+0,863	-0,732
	Наличие линейной корреляции	нет	нет	есть	есть

Очевидно, соотношение объемов металлической и металлоподобных фаз само по себе не влияет на напряженное состояние покрытий (это соотношение почти неизменно остается на уровне 4/5…1/1).

Определяющую роль играет природа металлоподобных фаз, содержащих хром: напряженное состояние тем благоприятнее, т.е. сильнее смещено в сторону сжатия, чем меньше в покрытии боридов хрома и больше его карбидов. Это объясняется, видимо, очень большим различием КТР этих фаз (табл. 2).

Таблица 2 - Средние КТР в интервале 273…1273 К

Состав материала	Х20Н80	Сталь 20	Бориды никеля	Cr_2B	Cr_3C_2	$Cr_{23}C_6$
КТР ср. $\alpha \cdot 10^6$ 1/град	17,2	13,5	12	15	11,7	10,1

Наличие данных по фазовому составу покрытий в сочетании с данными об остаточных напряжениях позволило проверить последнее, рассчитав их без применения рентгеноструктурного анализа.

При расчете исходили из следующих положений:

1. Остаточные напряжения I ряда, приводящие к упругой деформации покрытия, есть следствие различия величин теплового сжатия покрытия металла – основы после кристаллизации покрытия.
2. Коэффициент теплового сжатия (расширения) покрытия аддитивен по фазам системы, т.е.

$$\alpha_{покр.} = \sum_{i=1}^{n} \alpha_{ф}^{(i)} V_{ф}^{(i)},$$

где: $\alpha_{ф}^{(i)}$ — КТР ***i***-ой фазы;

$V_{ф}^{(i)}$ — ее объемная доля в покрытии;

3. Толщина покрытия 0,8; фазовый состав по толщине неизменен (что является, в значительной мере произвольным допущением); сечение покрытия, подвергающиеся действию напряжений, равно произведению толщины покрытия на диаметр образца, т.е. на 20 мм.
4. Длина металлического тела, на которое наносится покрытие, равна при комнатной температуре длине связанного с подложкой покрытия после его охлаждения (20 мм).
5. В момент лазерного оплавления температура материала покрытия и температура соприкасающейся с ним стали равны и составляют 1273 К (сталь находится в твердом состоянии, а покрытие — в расплавленном, но кристаллизация происходит при переходе 1273 –го порога). Таким образом, длина тела-подложки (как и длина закристаллизовавшегося покрытия) равна:

$$L_t = L_0\left(1 + \alpha_{стали} \cdot 1000\right) = 20\left(1 + 13{,}4 \cdot 10^{-3}\right) = 20{,}268\ мм$$

Если бы покрытие могло свободно сжаться, его длина после охлаждения составила бы:

$$L_0 = \frac{L_t}{\left(1 + \alpha_{покр} \cdot 1000\right)} = \frac{20{,}268}{1{,}01436} = 19{,}981\ мм$$

6. По закону Гука, сила, действующая в поперечном сечении покрытия, равна:

$$P = \Delta L \cdot E,$$

а напряжение:

$$\sigma = \frac{P}{F_{покр.}} = \frac{\Delta\alpha \cdot E}{h \cdot d}.$$

Приняв (по справочным данным) модуль упругости Е равным модулю Юнга сплава Х20Н80, т.е. $22{,}38 \cdot 10^5$ МПа, получаем значение, превышающее рентгеновские данные, на величину погрешности. Например, для сплава ПГ– СР3 с 30% Cr_3C_2 получаем: σ = + 266 МПа (по рентгеновским данным – 220 МПа).

Выводы. Таким образом, уровень остаточных напряжений в покрытиях на основе самофлюсующихся никелевых сплавов зависит от способа и режимов их оплавления, а также природы легирующих добавок, что, в свою очередь, определяется фазовым составом покрытия.

Величина остаточных напряжений определяется, в основном, количеством упрочняющих фаз – боридов и карбидов хрома – вследствие разницы коэффициентов термического расширения этих фаз и никелевой матрицы.

Список литературы: 1. Тихонов Л.В. Механические свойства металлов и сплавов. Справочник. Структура и свойства металлов и сплавов.Т.2. Киев: Наукова думка, 1986.– 82 с.

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ СВЕРЛЕНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВИБРАЦИЙ

Коваленко В.И., Грешникова В. И. *(ДонНТУ, г. Донецк)*
Тел./Факс: +38 (062) 3050104; E-mail: tm@mech.dgtu.donetsk.ua

***Abstract**: In this paper, we use some aspects of vibration drilling related to the development of the necessary equipment, the use of various technological processing schemes, and the applied cutting conditions. Get the results of the use of vibration drilling in the processing of various types of steel. The introduction of a method of drilling with axial vibrations is reported.*

***Key words**: drilling, vibrations, processing technological schemes, vibration modes.*

Известно, что эффективность процесса сверления увеличивается при использовании вибраций [1, 2]. При этом улучшаются динамические условия резания, облегчается процесс удаления стружки, более рационально используются смазочно-охлаждающие технологические среды. В работе [3] показано, как изменяются крутящий момент и осевая сила при изменении подачи, приводятся сведения о повышении стойкости сверл. В настоящей работе рассматриваются некоторые аспекты вибрационного сверления, связанные с разработкой необходимого оборудования, использования различных технологических схем обработки, применяемых режимов резания.

Рассмотрим оборудование, используемое при вибросверлении, и применяемые режимы резания.

Один из первых образцов станка для вибрационного сверления был создан НИИТракторосельхозмаш совместно с Ленинградским карбюраторным заводом. Была принята обычная схема вертикально-сверлильного станка, когда вращающееся сверло получает равномерную подачу от электродвигателя через кулачок. Вибрации вдоль вертикальной оси задавались обрабатываемой детали от электромагнитного вибратора, питаемого от сети током 50 *гц*. Позднее в НИИТракторосельхозмаш был разработан станок, использующий тот же вибратор, но работающий по схеме: вращение, подача и осевые вибрации шпинделя со сверлом. Обработка отверстий диаметром 0,2 - 0,6 *мм* в сталях (Ст. 3, У10А) и цветных сплавах (например, латуни) производилась при режимах резания: скорость вращения двигателя 23000 – 30000 об/мин, подача 0,003 – 0,006 мм/об.

Задание столу (с укрепленной заготовкой) вибраций с частотой 50 *гц.* и амплитудой 0,02 - 0,09 *мм* позволило увеличить скорость резания в 3 - 4 раза, стойкость сверла возросла в 4 - 5 раз.

В МВТУ им. Баумана создано несколько образцов станков для вибрационного сверления:

- станок ВС-I с электродинамическим вибратором для сверления контровочных отверстий диаметром 1,0 - 2,0 *мм* в гайках из нержавеющей стали Х18Н9Т;
- двухшпиндельный станок-полуавтомат ВС-III для сверления такого же типа деталей;
- станок с электрогидравлическим вибратором для сверления отверстий диаметром до 6,0 *мм*.

Внедрение станка ВС-I позволило повысить производительность труда в 2 - 2,5 раза на операции сверления контровочных отверстий в гранях гаек из стали Х18Н9Т диаметром 1,2—1,5 мм. Стойкость сверл при этом возросла в 2,5 - 3 раза.

Следующим этапом повышения производительности сверления за счет сокращения вспомогательного времени явилась разработка конструкции

двухшпиндельного вибросверлильного станка—полуавтомата ВС-III для обработки отверстий малого диаметра в труднообрабатываемых сталях. Отличительной ее особенностью является наличие бесступенчатого регулирования чисел оборотов шпинделей через конический вариатор.

В процессе промышленной эксплуатации станков ВС-I и ВС-III была установлена недостаточная долговечность шпиндельного узла. Учитывая это, была создана новая конструкция шпиндельной подвески.

Сила резания при испытаниях была заменена поджатием шпинделя через муфты пружиной с осевой силой 200 - 250 кН. При проведении испытаний через каждые 50 ч работы производили разбор узла. При этом контролировалось появление зазоров, замерялись внутренние диаметры в бронзовых подшипниках в трех плоскостях в нижней, средней и верхней частях. В течение всего времени испытаний появление зазора в подвеске и износ в бронзовых подшипниках выявлен не был. Это позволяет судить о достаточной долговечности узла.

Для вибрационного сверления отверстий диаметром до 6 *мм* в деталях из труднообрабатываемых материалов МВТУ им. Баумана разработан вибрационной сверлильный станок с электрогидравлическим вибратором. Применение электрогидравлического вибратора для сообщения сверлу осевых вибраций вызвано тем, что мощность электродинамического вибратора, применяемого при вибрационном сверлении отверстий диаметром 1 - 2 *мм*, оказывается недостаточной для сверления отверстий большого диаметра.

При производственном внедрении вибрационного сверления были внедрены операции сверления отверстий диаметром 2,15 – 3,44 - 2,8 - 4,45 *мм* с вибрациями, задаваемыми механическим вибратором эксцентрикового типа. Для изменения частоты колебаний использовали двигатель постоянного тока. Необходимая частота устанавливалась с помощью генератора постоянного тока типа ТС-10-350, включенного по схеме двигателя с дополнительным сопротивлением 500 *ом*. Эта схема хорошо работает при скорости вращения двигателя 2200 – 5900 об/мин.

Это позволило получить пределы изменения частот колебаний 37 - 95 *гц*. Регулирование амплитуды колебаний производилось двумя способами: грубо - посредством сменных эксцентриков и точно - путем углового смещения эксцентриситета. Это позволяет изменять значение двойной амплитуды колебаний в пределах 0,01 – 0,22 мм.

Режимы вибраций выбирали, исходя из двух условий: обеспечение надежного дробления стружки и получение максимальной стойкости инструмента. При сверлении отверстий диаметром 3,44 *мм* при частоте вращения шпинделя 1410 об/мин., подаче 0,05 мм/об и амплитуде колебаний 0,07 мм было установлено, что при частоте вибраций 70 - 95 *гц* получена мелкодробленая, легко удаляемая стружка. При меньшей частоте условия дробления ухудшаются. В диапазоне значений от половины расчетной подачи до двух расчетных подач, увеличение амплитуды вибраций приводит к получению более мелкой стружки.

Выявлено влияние амплитуды на стойкость сверла при обработке отверстий диаметром 3,44 *мм* на режимах: частота вращения шпинделя 1450 об/мин., подача 0,05 мм/об и частота колебаний 75 гц.

Наибольшая стойкость получается при амплитудах вибраций, равных (1,0 – 1,5) подачи. Для уменьшения динамической нагрузки во всех последующих стойкостных испытаниях и при внедрении, было принята амплитуда, равная значению подачи.

В результаты внедрения вибрационного сверления были получены следующие положительные результаты.

Внедрение вибрационного сверления повысило стойкость сверла (табл. 1), улучшило условия труда, так как обычное сверление, например, отверстий диаметром 2,15 до размера 2,8 *мм* производилось с ручной подачей.

Таблица 1. Результаты внедрения вибрационного сверления

Диаметр сверления, в *мм*	Обрабатываемый материал	Увеличение стойкости относительно обычного процесса
2,15	25ХНВА	В 4,6 раза
2,8	25ХНВ	В 3,6 раза
3,44	25ХНВА	В 2,1 раза
4,45	30ХРА	В 2,2 раза

Ряд исследований вибрационного сверления в последние годы проведен и за рубежом.

Фирмой Boyar — Schuttz (США) исследован и внедрен метод сверления с осевыми вибрациями, задаваемыми с помощью кулачка. Отмечается особая эффективность использования этого метода при обработке отверстий большой длины: возможна обработка отверстия диаметром 3,2 *мм* и длиной 32 *мм* в стальных деталях с подачей 0,05 *мм/об* при 5700 *об/мин* без вывода инструмента, между тем как обычная обработка выполнялась с выводами.

Для вибрационного сверления инструмент должен иметь более крутую спираль, а СОЖ необходимо подавать через тело сверла. Обработку материалов, склонных к повышенному наклепу, следует вести с меньшей скоростью, но большей подачей.

Выводы.

Результаты исследований позволили установить, что скорость резания при вибрационном сверлении на 30 - 40% превышает соответствующие значения для обычного резания. При этом улучшается качество поверхности и точность обработки.

Снижение износа сверл по передней и задней поверхностях и по перемычке за счет задания осевых вибраций было подтверждено исследованиями, проведенными в Болгарии при обработке с частотой вибраций 100 *гц* с амплитудой до 100 *мкм* плит из стали 10 (НВ 107) толщиной 6 *мм*. Сверление производилось быстрорежущими сверлами диаметром 1,8 *мм*. Осевые вибрации задавались обрабатываемой детали электромагнитным вибратором.

Список литературы: 1. Звонцов И.Ф.,Серебреницкий П.П., Схиртладзе А.Г. Технологии сверления глубоких отверстий: Учебное пособие. – СПб.: Издательство «Лань», 2013. – 496 с. **2**. Подураев В.Н. Обработка резанием с вибрациями. М.: «Машиностроение», 1970. – 350 с. **3**. Панченко О.И., Коваленко В.И. Особенности вибрационного сверления. Инженер. Студенческий научно-технический журнал. – Донецк: ДонНТУ, 2017. - № 1(23)-2(24).– 55-56 с.

РАЗРАБОТКА КОМПОНЕНТОВ КОНФИГУРИРОВАНИЯ ПОЛЬЗОВАТЕЛЬСКОГО ИНТЕРФЕЙСА В ЗАДАЧЕ HMI ДЛЯ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ ОБОРУДОВАНИЕМ

Козак Н. В., **Захаров А. С.** (*ФГБОУ ВО «МГТУ «СТАНКИН», г. Москва, Россия*)
Тел./факс: +7 (916) 604-38-08; *E-mail:* admin@statsu.ru

Abstract: *The publication proposes a software structure for the configuration components of the graphical user interface of a numerical control system for providing detailed settings for technological tasks of the equipment. The basis for software development was the interface of the system with numerical program control AxiOMA Control. A software implementation is presented, that allows you to save the mutual arrangement of elements in the XML structure.*
Keywords: *software, user interface, numerical control, configuration components, HMI.*

Введение

В публикации предложена структура программного обеспечения для компонентов конфигурирования графического пользовательского интерфейса системы числового программного управления для обеспечивает детальной настройки под технологические задачи оборудования. За основу для разработки программного обеспечения использовался интерфейс системы числовым программным управлением «АксиОМА Контрол».

Разрабатываемые современные человеко-машинные интерфейсы (HMI) проектируются под определённые задачи, выполняемые человеком. Например, экран должен учитывать особенности процесса силового строганий [1]. Производители сразу пытаются разработать интерфейс, который обеспечит оператора всеми возможными конфигурациями. Основная сложность в создании интерфейса - учесть все возможные действия, которые будет выполнять оператор станка при выполнении задачи. Хорошо настроенный интерфейс оператора позволяет тратить меньше времени на освоение функций системы и быстро выполнять поставленные технологические задачи (рис 1.).

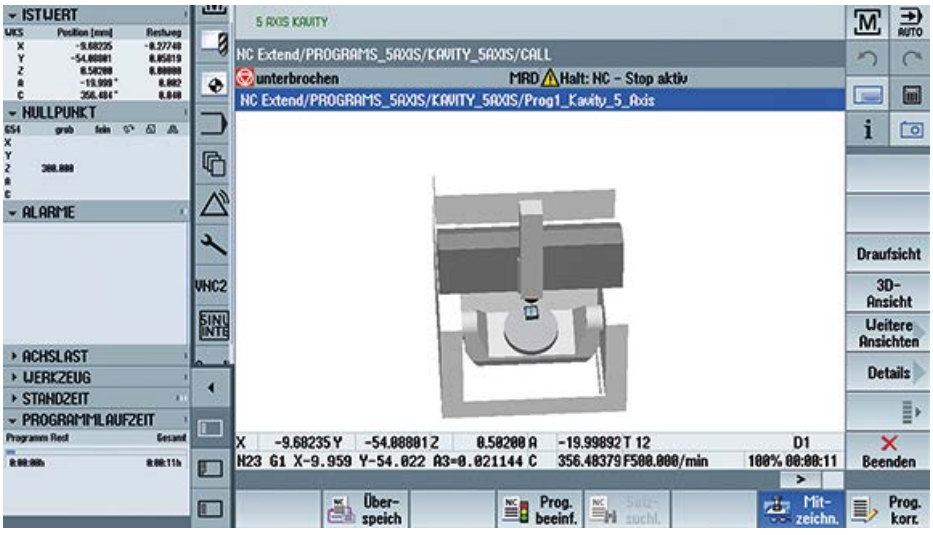


Рис. 1. Пример интерфейса оператора системы ЧПУ

Современные интерфейсы оператора собраны из множества различных элементов управления, часто пользовательский интерфейс программного обеспечения является большим и сложным для реализации, отладки и модификации. Реализация изменений в пользовательском интерфейсе терминальной части под

специализированные задачи системы управления требует высокого уровня квалификации разработчиков и уровня доступа к программным интерфейсам терминальной части. Поэтому актуальной задачей является создание инструментальных средств конфигурирования элементов управления для создания специализированных и удобных HMI.

Целью статьи является представить программные компоненты и архитектурные особенности их построения для создания конфигурируемого графического пользовательского интерфейса в проблематике HMI системы ЧПУ. Для достижения цели можно условно выделить четыре этапа:

1. Анализ существующих инструментариев конфигурирования пользовательского интерфейса. Исследование возможностей интерфейсов, которые существуют на рынке.
2. Разработка архитектуры для построения конфигурируемого пользовательского интерфейса.

a. Разработка архитектуры пользовательского интерфейса.

b. Разработка структуры XML файла для конфигурации пользовательского интерфейса.

3. Программная реализация инструментария для конфигурирования пользовательского интерфейса системы управления.
4. Тестирование функций конфигурирования в интерфейсе системы числового программного управления «АксиОМА Контрол».

Структура программных компонентов

Одной из основных задач в системе управления является обеспечение взаимодействия между человеком и программно-аппаратным комплексом, т.е. машиной, которая реализует какой-либо технологический процесс производства. Человеко-машинный интерфейс (HMI) – набор средств доступа и набор параметров, обеспечивающие человека возможностями управления поведением вычислительной системы. Особенности разных систем с ЧПУ обеспечиваю потребности только типовые задачи (фрезерная, токарная обработка) и не всегда предоставляют возможности «тонкой» настройки пользовательского интерфейса под технологические задачи [2-4].

Архитектура программных компонентов, разработанная для построения конфигурируемого пользовательского интерфейса, представлена ниже (рис. 2). Компоненты архитектуры взаимодействуют на основе общих интерфейсов (из модуля InterfaceCoreControl), это позволяет снять прямую зависимость компонентов различных прикладных задач системы друг от друга. Таким образом, набор компонентов прикладных задач может быть настроен. В терминальной части системы управления «АксиОМА Контрол» [5] загружаться будут только те компоненты, которые присутствуют в конфигурации.

Структура XML документа создается в процессе разработки проекта [6], она представляет собой древовидную иерархию размещенных в рабочей области элементов управления. При сохранении проекта она отображается в XML документе (рис. 3). Каждый элемент управления ассоциируется с определенным типом данных в структуре XML документа, позволяя загружать его в рабочий интерфейс системы ЧПУ. Основной родительский элемент структуры XML документа «Project» отвечает за структуру проекта, в нем находятся дочерние элементы «Screen» хранящие информацию о экранах.

Каждый экран может содержать «SplitContainer» или «ScreenControl». «SplitContainer» позволяют создавать множество вложенных экранов «SplitterPanel»

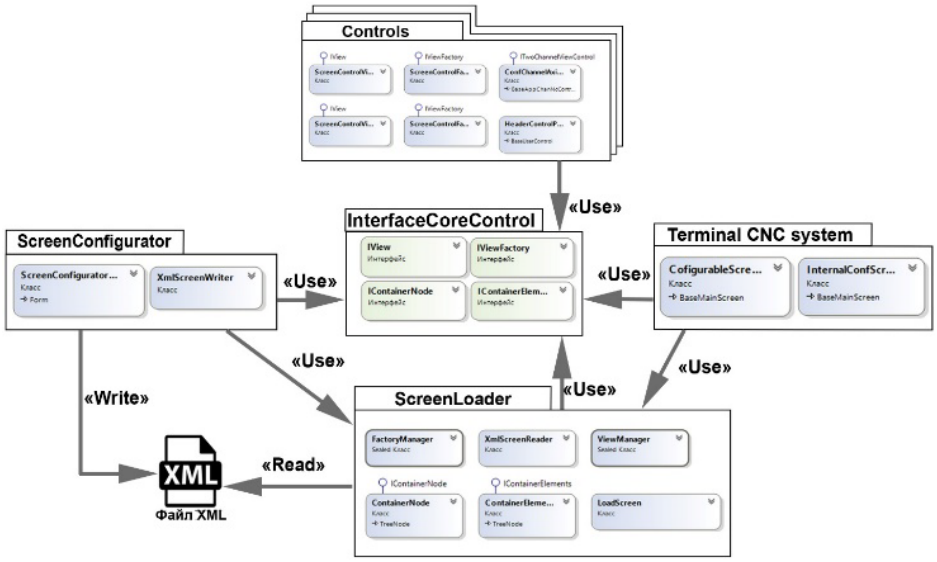


Рис. 2. Архитектура системы конфигурирования пользовательского интерфейса

внутри главного экрана «Screen». «ScreenControl» может располагается в одном из вложенных экранов «SplitterPanel» или в главном экране «Screen». Каждый элемент в XML документе содержит параметры для расположения в рабочей области, они загружаются при чтении XML документа.

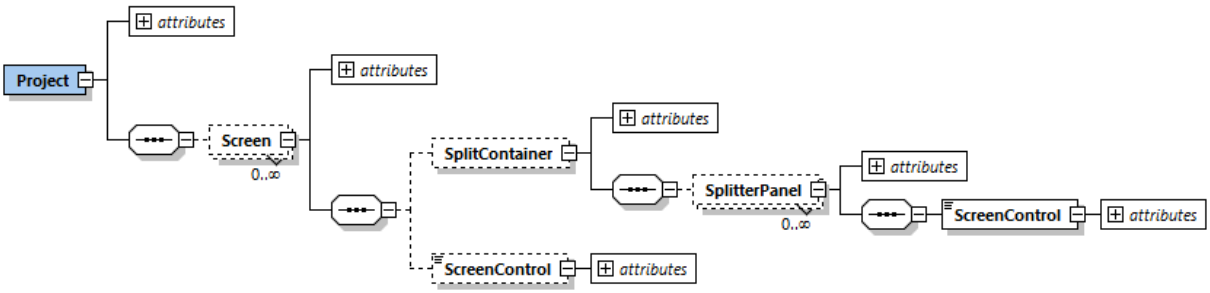


Рис. 3. Структура конфигурируемого проекта в XML документе в формате XSD

Программная реализация

Приложение для конфигурирования пользовательского интерфейса обеспечивает создание экранов и размещение на них специализированных элементов управления, предназначенных для различных технологических задач станочного оборудования. Например, режимы работы станка с ЧПУ – Авто, Ручной, Ручной ввод. Созданная в приложении конфигурация экранов и элементов управления сохраняется в XML файле. После сохранённый XML файл загружается в терминальную часть, в все элементы управления загружаются на свои места в терминальной части [7]. Рассмотрим функциональную часть представленную на рис. 3.

На рис. 4, (1) показана основная рабочая область, в которой размещается конфигурируемый экран. На рис. 3, (2) представлена дерево элементов, которое показывает расположение элементов в иерархии. На рис. 3, (3) показана панель элементов, в которой располагаются доступные элементы управления. На рис. 3, (4) показано окно свойств, в котором можно настраивать элементы управления в рабочей области.

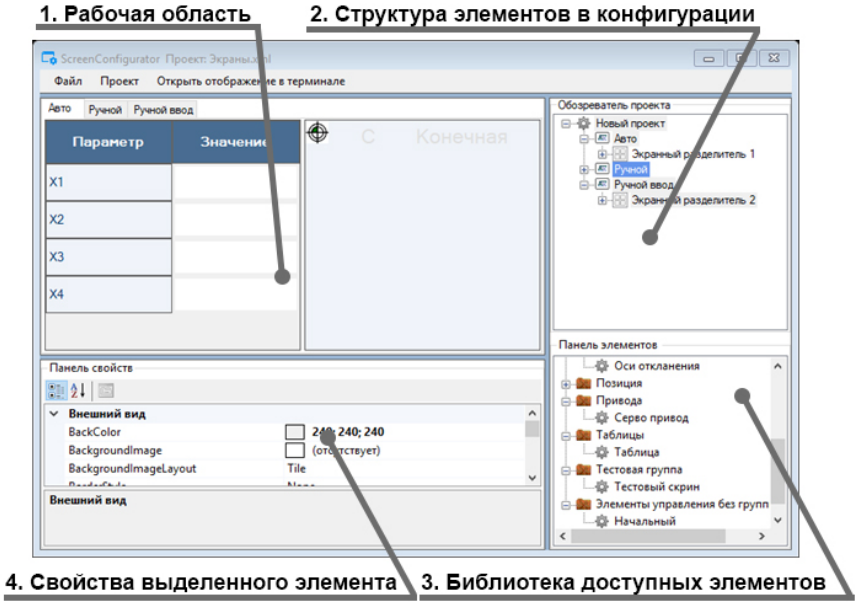


Рис. 4. Интерфейс программы конфигуратора интерфейса пользователя для ЧПУ

Разрабатываемый инструментарий конфигурирования экранов пользовательского интерфейса системы ЧПУ, позволит создавать специализированные экраны управления под технологические задачи на стороне станкостроителей. Пользователю нужно всего лишь открыть нужный экран в программе и изменить расположения элементов, простота приложения позволит всего за пару минут обучиться конфигурации новых экранов.

Заключение

Использование возможностей данного программного инструментария даёт возможность конфигурирования экранов терминальной частит системы ЧПУ «АксиОМА Контрол», не прибегая к изменению кода, что позволяет сократить трудозатраты и предоставить возможности настройки интерфейса станкостроителям.

В дальнейшем планируется разработать детальную настройку экранов системы ЧПУ и добавит настройку функциональных клавиш, что обеспечит более полную настройку функций экрана оператора.

Список литературы: **1.** Мартинов Г. М., Козак Н. В. Построение специализированной системы ЧПУ для пятикоординатного строгально-фрезерного обрабатывающего центра // СТИН, 2015. №8. - С. 2-6. **2.** Сосонкин В.Л., Мартинов Г.М. Системы числового программного управления: Учеб. пособие. – М. Логос, 2005. – 296 с. ISBN 5-98704-012-4. **3.** Мартинов Г. М. Система ЧПУ «АксиОМА Контрол»: перспективы развития в поле мировых трендов // Вестник МГТУ «Станкин». — 2018. — № 1. — С. 106—110. **4.** Martinov G. M., Kozak N. V. Numerical control of large precision machining centers by the AxiOMAcontol system // Russian Engineering Research. — 2015. — Vol. 35. — Iss. 7. — P. 534—538. **5.** Козак Н.В., Нежметдинов Р.А. Графические системы и интерфейс оператора: учебное пособие. – М.: МГТУ "Станкин", 2010. – 81с. **6.** Питц-Моултис Н., Кирк Ч., XML в подлиннике. СПб.: BHV, 2000. - 736 с. **7.** Захаров А.С., Козак Н.В. Разработка компонентов конфигурирования в задаче HMI для систем управления технологическим оборудованием. Материалы международной научно-практической конференции, г. Вологда, 11 декабря 2019г.: в 2 частях. Часть 1.–Вологда: ООО «Маркер», 2019. –128с. с. 46-48.

ПЕРЕМЕЩЕНИЕ ВЕРТИКАЛЬНОГО ТРУБОПРОВОДА ПРИ РАЗЛИЧНЫХ РЕЖИМАХ ДВИЖЕНИЯ ПЛАВСТРЕДСТВА, ПРЕДНАЗНАЧЕННОГО ДЛЯ ДОБЫЧИ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ СО ДНА МИРОВОГО ОКЕАНА

Козыряцкий Л.Н., Шевченко Ф.Л., Божко Р.И. *(ДОННТУ, г. Донецк, ДНР)*
Тел.: +380713861639, E-mail: bozhko342@mail.ru, ems@fimm.donntu.org

Abstract: *One of the best ways to extract minerals, in particular ferromanganese nodules, from the bottom of the World Ocean is airlift. When designing an air-lift hydraulic lifting of a solid fraction, it is necessary to solve many problems, including the issues of moving a vertical lifting pipeline under different conditions of the floating craft movement. Equations of displacement of a vertical pipeline as a rigid rod pivotally fixed at the center of gravity of the boat with some end load are considered, taking into account underwater currents with a linear change in speed. The scheme of results of calculation of a trajectory of movement of the bottom end of the pipeline at various modes of movement of a boat.*
Key words: *World Ocean, hydraulic extraction, airlift, vertical pipeline, moving, boat, calculations, speed, hard rod, current, differential equation, acceleration.*

Как показали теоретические и экспериментальные исследования проведенные на кафедре ЭМС ДонНТУ (ДПИ) и ПО «Южморгеология», наиболее перспективным и технически реализуемым способом глубоководной (до 6000 метров) добычи железомарганцевых конкреции (ЖМК) со дна Мирового океана на данном этапе является комплекс технических средств на базе гидравлической системы подъёма и в частности с помощью эрлифтных установок [1,2,7,8,9].

В Донецком национальном техническом университете (ранее ДПИ) проводились широкомасштабные и многолетние исследовательские работы по эрлифтным установкам различного назначения, в том числе эрлифтных добычных комплексов по подъему полезных ископаемых со дна водоёмов. Данные разработки были внедрены в различные отрасли промышлености. Например, эрлифтно-земснарядные комплексы по добыче песка со дна рек и озёр Западной Сибири РФ, более десятка установок.

Специфика условий глубоководной добычи ЖМК со дна Мирового океана при глубинах до 6000 м определяет вопрос создания гидравлических глубоководных систем подъёма судовых добычных комплексов как крупную и сложную комплексную научно-техническую проблему. Комплексность проблемы определяется, с одной стороны, взаимосвязью технических процессов сбора и объёма ЖМК, а с другой стороны – выполнением кроме основной функции подъёма ЖМК, функций связующего звена между плавсредством и агрегатом сбора и несущей конструкции для всего подводного оборудования добычного комплекса [2]. Таким образом предполагаемая схема судового добычного комплекса с гидравлической (эрлифтной) системой подъёма предусматривает необходимость выполнения всех видов функциональных связей: технических, кинематических и конструктивных [3,4]. Поэтому при проектировании гидравлических систем подъёма необходимо решать многие задачи, в том числе и вопросы перемещения вертикального трубопровода при различных режимах движения плавсредства для добычи ЖМК со дна Мирового океана [1,2].

Основная задача настоящего исследования − получить соответствующие уравнения перемещения вертикального трубопровода эрлифта и определить характер его движения, а также параметры влияющие на поведение этого трубопровода при перемещении плавсредства в водоеме.

Расчеты трубопровода при квазистатических нагрузках (1) – (6) показали, что он испытывает практически безмоментное напряженное состояние, как гибкая нить. Рассматривая в равновесии элемент нити с погонной массой m, на который действует горизон-

тальная сила инерции $m^*\ddot{y}$ (m^* – погонная масса трубопровода с учетом присоединенной массы внешней среды и массы протекающей гидросмеси), нормальная сила сопротивления движения $K\dot{y}^2$ и растягивающее усилие $T = m\xi g(L-x)$ (ξ – коэффициент, учитывающий архимедову силу, $L = l(1+M/ml)$, M – масса концевого груза), при малой скорости, когда $\sin y' = y'$, получим дифференциальное уравнение движения (рис.1):

$$y_{tt} = \frac{m\xi}{m^*} g\left((L-x)y_x\right)_x - \frac{k}{m^*} y_t^2 \qquad (1)$$

с граничными условиями: $y(0,t) = y(t)$ – уравнение движения плавсредства; $y_{tt}(l,t) = \frac{M\xi}{M^*} g y_x(l,t) - \frac{K_0}{M^*} y_t^2(l)$ – уравнение равновесия концевого груза $Q = Mg$ с коэффициентом сопротивления K_0.

В начале равноускоренного движения плавсредства $y(t) = \frac{at^2}{2}$ с ускорением a, когда скорость движения трубопровода настолько мала, что можно положить $K = K_0 = 0$, решением может быть функция

$$y(x,t) = ax + \beta t^2. \qquad (2)$$

Так как $y_{tt} = 2\beta$, $y_x = \alpha$, то из граничных условий $y_{tt}(0,t) = 2\beta = -\frac{m\xi}{m^*} g\alpha$, $y_x(0,t) = -2\beta\frac{2m^*}{m\xi g}$, получим:

$$y(x,t) = \frac{\alpha}{2}(t^2 - \frac{2m^*}{m\xi g}x)\cdot\eta(x,t), \qquad (3)$$

где $\eta(x,t) = 1$ при $t^2 - \frac{2m^*}{m\xi g} > 0$, $h(x,t) = 0$, при $t^2 - \frac{2m^*}{m\xi g} < 0$.

Это значит, что в начальный период движения гибкая нить принимает форму прямой линии с фронтом волны, достигающим нижнего сечения за время $t = \sqrt{2m^* l/(m\xi g)}$.

В конце режима разгона трубопровода, когда начнется его равномерное движение со скоростью υ при $y_{tt} = 0$, уравнение движения нити примет вид $y(t) = \upsilon t + y(x)$, где $y(x)$ – уравнение деформированной нити, полученное при граничных условиях $y(0) = 0$, $y'(l) = -\frac{K_0\upsilon^2}{Mg\xi}$. Последовательным интегрированием для равномерного движения нити получим уравнение углов поворота $\theta = y'(x)$ и уравнение деформированной оси $y(x)$:

$$\theta = \frac{\frac{k}{M}\upsilon^2 - g\xi L y'(0)}{g\xi(L-x)} \qquad (4)$$

$$y(x) = \frac{k\upsilon^2 l}{mg\xi}\left(\frac{x}{l} - \bar{M}\left(1 - \frac{K_0 m}{KM}\right)\ln\frac{1+\bar{M}}{1+\overline{\bar{M} - x/l}}\right), \qquad (5)$$

где $\bar{M} = \frac{M}{ml}$.

Если $\sin\theta \neq \theta$, то вместо (4), будем иметь (6):

$$\theta = \arcsin \frac{a - b - c(a+b)\left(\dfrac{L-l}{L-x}\right)^{a/b}}{1 + c\left(\dfrac{L-l}{L-x}\right)^{a/b}}, \qquad (6)$$

где $c = (a - b - \sin\vartheta)/(a + b + \sin\vartheta)$, $b = q/2K\upsilon^2 = mg\zeta/2K\upsilon^2$, $a = \sqrt{b^2+1}$.

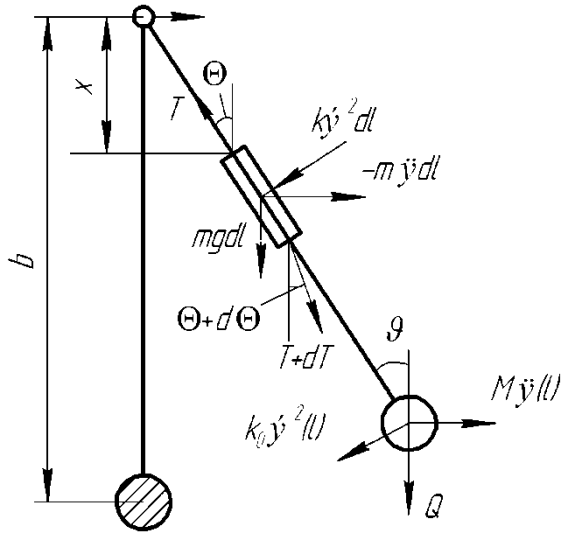


Рис.1. К расчету деформированного трубопровода как гибкой нити

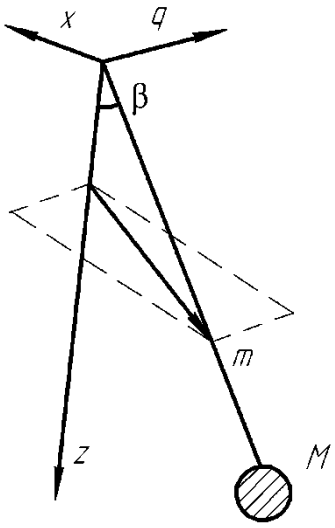


Рис.2. К расчету перемещения трубопровода как жесткого стержня

Угол поворота на конце трубопровода ϑ вычисляется из условия равновесия концевого груза, т.е. из уравнения:

$$\sin^2\vartheta + \frac{Mg\xi}{K_0\upsilon}\sin\vartheta - 1 = 0 \qquad (7)$$

Приближенным интегрированием (6) можно получить рекуррентную формулу горизонтальных перемещений сечений трубопровода:

$$y_i = y_{i+1} + \frac{l_i}{6l_{i=1}(l_i + l_{i-1})}\left[l_{i-1}(2l_i + 3l_{i-1})\right]tg\theta_{i-1} + (l_i + 3l_{i-1})(l_i + l_{i-1})tg\theta_i - l_i^2 tg\theta_{i-1}. \qquad (8)$$

Например, для трубопровода с параметрами l = 6000 м, $m\zeta = 82{,}2$ кг/м, $M\zeta = 50\cdot10^3$ кг, $K = 179{,}4$ Нс^2/м^2, $K_0 = 7200$ Нс^2/м при $\upsilon = 0{,}5$ м/с и $x = l$ на основании (5) получим $y(l) = 257{,}4$ м, а по (7), (8) при шаге разбивки $\Delta = 100$ м, $y(l) = 262$ м.

Если стержень считать недеформированным, то отклонение нижнего сечения окажется равным $y = \dfrac{K\upsilon^2}{mg}l\left(1 + \dfrac{2K_0}{Kl}\right)/\left(1 + \dfrac{2M}{ml}\right) = 279{,}4$ м.

Из этого примера видно, что с погрешностью 6,6% транспортный трубопровод при небольших скоростях движения можно считать абсолютно жестким [5,7]. Поэтому при анализе пространственных перемещений рассматривается жесткий стержень, шарнирно закрепленный в центре тяжести плавсредства, с концевым грузом Q (см. рис 2), (9) – (14). Верхняя опорная точка стержня перемещается в горизонтальной плоскости по заданной траектории $\vec{r} = \{x, y, 0\}$. Перемещение произвольной точки $\vec{r} = \vec{r}_0 + \zeta + \vec{e}$. Скорость движения произвольного сечения

$$\vec{\upsilon}(\zeta)=\vec{r}_0+\zeta(\vec{e}=\{(\dot{x}-\zeta(\beta\cos\alpha\cdot\cos\beta-\alpha\sin\alpha\cdot\sin\beta))(\dot{y}-$$
$$-\zeta\left(\beta\sin\alpha\cdot\cos\beta+\alpha\cos\alpha\cdot\sin\beta\right))-\zeta\beta\sin\beta\}) \qquad (9)$$

Квадрат нормальной составляющей $\upsilon_n^2=\upsilon^2-\upsilon_\tau^2=\upsilon^2-\vec{\upsilon}\vec{e}$,

$$\upsilon_n^2=\dot{x}^2+\dot{y}^2+\zeta^2\left(\dot{\beta}^2+\alpha^2\sin^2\beta\right)-2\zeta((\dot{x}\cos\alpha+y\sin\alpha)\dot{\beta}\cos\dot{\beta}-$$
$$\left(\dot{x}\sin\alpha-\dot{y}\cos\alpha\right)\alpha\sin\beta)-\left(\dot{x}\cos\alpha+\dot{y}\sin\alpha\right)^2\sin^2\beta \qquad (10)$$

Для вычисления перемещений используются уравнения Лагранжа:

$\frac{d}{dt}\left(\frac{\partial}{\partial q_i}\right)-\frac{\partial T}{\partial q_i}+\frac{\partial \Pi}{\partial q_i}+\frac{\partial \Phi}{\partial q_i}=0$, где $i=1,2;\ q_1=\alpha;\ q_2=\beta$.

С учетом (9, 10) вычисляются соответствующие производные кинетической энергии

$\frac{\partial T}{\partial\dot{\alpha}}=\frac{m}{2}\int_0^1\frac{\partial\upsilon^2}{\partial\dot{\alpha}}d\zeta+\frac{M}{2}\frac{\partial^2\upsilon(l)}{\partial\dot{\alpha}}=\frac{ml^3}{3}\xi_1\alpha\sin^2\beta+\frac{ml}{2}\xi_2\left(x\sin\alpha-y\cos\alpha\right)\sin\beta$,

$\frac{\partial T}{\partial\alpha}=\frac{ml^2}{2}\xi_2\left(\dot{\beta}\left(\dot{x}\sin\alpha-\dot{y}\cos\dot{\alpha}\right)\sin\beta+\dot{\alpha}\left(\dot{x}\cos\alpha+\dot{y}\sin\alpha\right)\sin\beta\right)$ и диссипативной функции

$\Phi=\frac{1}{3}K\int_0^l\upsilon^3{}_n(\zeta)d\zeta+\frac{1}{3}K_0\Big/\upsilon^3{}_n(l)$;

$$\frac{d\Phi}{d\dot{\alpha}}=\frac{K}{2}\int_0^l\left(\upsilon^2(\zeta)-\left(\dot{x}\cos\alpha+\dot{y}\sin\alpha\right)^2\sin^2\beta)\right)^{1/2}\frac{\partial\upsilon^2}{\partial\dot{\alpha}}d\zeta+\frac{K_0}{2}(\upsilon^2(l)-$$

$\left(\dot{x}\cos\alpha+\dot{y}\sin\alpha\right)^2\sin^2\beta)^{1/2}\frac{\partial\upsilon^2(l)}{\partial\dot{\alpha}}$.

Аналогично вычисляются производные по параметру β. Вводя обозначения

$\alpha=\dot{x}^2+\dot{y}^2-\left(\dot{x}\cos\alpha+\dot{y}\sin\alpha\right)^2\sin^2\beta$

$b=-2\left(\dot{\beta}\left(\dot{x}\cos\alpha+\dot{y}\sin\alpha\right)\cos\beta-\dot{\alpha}\left(\dot{x}\sin\alpha-\dot{y}\cos\alpha\right)\sin\beta\right)$, $c=\dot{\beta}^2+\dot{\alpha}^2\sin^2\beta$, $\Delta=4ac-b^2$,

$R(\zeta)=a+b\zeta+c\zeta^2=\upsilon^2{}_n$ и используя табличные интегралы, производные диссипативной функции примут вид:

$\frac{\partial\Phi}{\partial\dot{\alpha}}=Ke_1\Phi_1+kf_1\Phi_2+K_0\left(e_il^2+f_1l\right)\sqrt{R(l)}$,

где $\Phi_1=(\frac{l}{4c}-\frac{5b}{24c^2})\upsilon^3{}_n(l)+\frac{5b}{24c^2}\sqrt{a^3}+\frac{5b^2-4ac}{16c^2}\left[\frac{2cl+b}{4c}\upsilon_n(l)-\frac{b\sqrt{a}}{4c}+\right.$ (11)

$$\Phi_2=\frac{1}{3c}\left(\upsilon_n^3(l)-\sqrt{a^3}\right)-b\frac{2cl+b}{8c^2}\upsilon_n(l)+\frac{b^2\sqrt{a}}{8c^2}-\frac{b\Delta}{16c^2\sqrt{c}}\ln\left|\frac{2\sqrt{c}\upsilon_n(l)+2cl+b}{2\sqrt{ac+b}}\right| \qquad (12)$$

Аналогично вычисляется: $\frac{\partial\Phi}{\partial\dot{\beta}}=Ke_2\Phi_1+Kf_2\Phi_2+K_0\left(e_2l^2+f_2l\right)\sqrt{R(l)}$.

Потенциальная энергия системы $\Pi=-mg\xi\int_0^l\zeta\cos\beta d\zeta-Mg\xi l\cos\beta=-\frac{gl^2}{2}\overline{\xi}\cos\beta$.

Производные равны $\frac{\partial\Pi}{\partial\alpha}=0$, $\frac{\partial\Pi}{\partial\beta}=\frac{gl^2}{2}\overline{\xi}\sin\beta$.

Подставляя полученные дифференциальные зависимости в уравнении Лангранжа, получаем систему уравнения для вычислении углов α и β, определяющих стержня в пространстве:

$$\begin{gathered}\left(ml^2\xi\ddot{\alpha}\sin^2\beta\right)/3+\left(ml^3\xi_1\dot{\alpha}\dot{\beta}\sin 2\beta\right)/3+\\ \left(ml^2\xi_2\left(\ddot{x}\sin\alpha+\dot{x}\dot{\alpha}\cos\alpha-\ddot{y}\cos\alpha+\dot{y}\dot{\alpha}\sin\beta\right)\right)/\\ 2-\left(ml^2\xi_2\dot{\alpha}\left(\dot{x}\cos\alpha+\dot{y}\sin\beta\right)\sin\beta\right)/2+\\ K\dot{\alpha}\Phi_1(t)\sin^2\beta+K\left(\dot{x}\sin\alpha-\dot{y}\cos\alpha\right)\Phi_2\left(t\right)\sin\beta+\\ K_0\sqrt{R\left(l,t\right)}(l^2\alpha\sin^2\beta+l(\dot{x}\sin\alpha-\dot{y}\cos\alpha)\sin\beta)=0\end{gathered} \tag{13}$$

$$\begin{gathered}\left((\mathrm{ml})^3\xi_1\ddot{\beta}\right)/3-\left(\left((\mathrm{ml})^2\xi_2\right)\left(\ddot{x}\sin\alpha+\dot{x}\dot{\alpha}\cos\alpha-\ddot{y}\cos\alpha+\dot{y}\dot{\alpha}\sin\alpha\right)\right)/\\ \left(2-(\mathrm{ml})^3\xi_1\dot{\alpha}^2\sin 2\beta\right)/6\left((ml)^2\dot{\alpha}\xi_2\left(\dot{x}\sin\alpha-\dot{y}\cos\alpha\right)\cos\beta\right)/2+\left(\left((gl)^2\xi_2\sin\right)/2\right)+\\ K\dot{\beta}\Phi_1(t)-K\left(\dot{x}\cos\alpha+\dot{y}\sin\alpha\right)\Phi_2(t)\cos\beta+K_0\sqrt{R(l,t)}\cdot\\ \left(\beta l^2-\left(\dot{x}\cos\alpha+\dot{y}\sin\alpha\right)l\cos\beta\right)=0\text{,}\end{gathered} \tag{14}$$

где $\xi_1=1+3M/ml$, $\xi_2=1+2M/ml$, $\overline{\xi}_2=1+2Q/ql$.

В частном случае движения опорной точки по прямой $\overline{r}_0=\{x,0,0\}$, когда $\dot{y}=0$, $\alpha=0$, остается одно уравнение (14) вида [4]:

$$\begin{gathered}\ddot{\beta}-\frac{3}{4}\cdot\frac{Kl}{m}\frac{\xi_5}{\xi_1}\dot{\beta}^2 sign\ \upsilon+\frac{3q\overline{\xi}_1}{2ml\xi_1}\sin\beta+\frac{2K\xi_4}{m\xi_1}\dot{y}\dot{\beta}\cos\beta\cdot sign\ \upsilon-\\ \frac{3\xi_2}{2l\xi_1}\ddot{y}\cos\beta-\frac{3K}{2ml}\frac{\xi_3}{\xi_1}\cos^2\beta sign\ \upsilon=0\end{gathered} \tag{15}$$

где $\xi_3=1+2K_0/Kl$, $\xi_4=1+3K_0/Kl$, $\xi_5=1+4K_0/Kl$.

При учете подводных течений с линейным изменением скорости по двум участкам (рис. 3) уравнения (15) примет следующий вид:

$$\begin{gathered}\ddot{\beta}-\frac{3}{4}\frac{Kl}{m}\frac{\xi_5}{\xi_1}\dot{\beta}^2 sign\ \upsilon+\frac{3q\overline{\xi}_2}{2ml\xi_1}\sin\beta+\frac{2K\xi_3}{m\xi_1}\dot{y}\dot{\beta}\cos\beta sign\ \upsilon-\frac{3\xi_2}{2l\xi_1}\ddot{y}\cos\beta-\\ \frac{3K}{2Ml}\frac{\xi_3}{\xi_1}\dot{y}^2\cos^2\beta sign\ \upsilon-\left(\frac{3}{2}\frac{kl}{m}\alpha_2\dot{\beta}\frac{\xi_5}{\xi_1}-\frac{2K\overline{\upsilon}_T}{m}\dot{\beta}\frac{\xi_3}{\xi_1}\cos\beta+\frac{3K\overline{\upsilon}_T}{ml}\dot{y}\frac{\xi_3}{\xi_1}\cos\beta-\right.\\ \left.\frac{2K\alpha^2}{m}\dot{y}\frac{\overline{\xi}_4}{\xi_1}\cos\beta+\frac{3K\overline{\upsilon}_T^2}{2ml\xi_1}\cos^2\beta-\frac{2K\alpha_2}{m}\overline{\upsilon}_T\frac{\overline{\xi}_4}{\xi_1}\cos\beta+\frac{3}{4}\frac{Kl}{m}\alpha_2^2\frac{\overline{\xi}_5}{\xi_1}\right)sign\ \upsilon=0\end{gathered} \tag{16}$$

где $\overline{\xi}_3=\xi-\frac{l_1^2}{l^2}\left(1-\frac{\upsilon_T^2}{\overline{\upsilon}_T^2}\right)$, $\overline{\xi}_4=\xi_4-l\frac{l_1^3}{l^3}\left(1-\frac{\upsilon_T}{\overline{\upsilon}_T}\right)$, $\overline{\xi}_5=\xi_5-\frac{l_1^4}{l^4}\left(1-\frac{\alpha_1}{\alpha_2}\right)$.

При вычислении коэффициентов ξ_1, ξ_2 параметрами *M* и *m* нужно учитывать присоединение массы окружающей среды и протекающей гидросмеси, а в коэффициенте $\overline{\xi}_2$ учитываются весовые нагрузки в воде.

Решение системы (13), (14) выполняется методом Рунге-Кутта [6].

Анализ результатов расчета траектории движения нижнего конца трубопровода при различных режимах движения плавсредства приводят к следующим выводам:

- в начале движения плавсредства волна деформации трубопровода быстро (в течении минуты) достигает нижнего сечения, а трубопровод при этом практически не изгибается;

- время разгона нижнего конца трубопровода пропорционально скорости движения плавсредства и не зависит от характера разгона плавсредства,

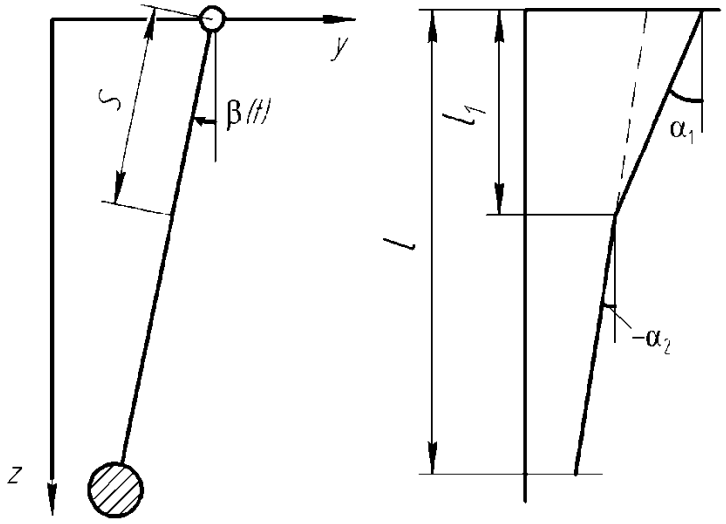


Рис.3. Эпюра скорости подводных течений

- отставание нижнего конца трубопровода пропорционально квадрату скорости движения плавсредства с постоянным коэффициентом пропорциональности, зависящим от параметров трубопровода;

- время торможения нижнего конца трубопровода до его полной остановки зависит от характера торможения плавсредства;

- при движении плавсредства по полукруговым траекториям нижний конец трубопровода перемещается по аналогичным траекториям, приближаясь к траекториям плавсредства по мере увеличения концевого груза;

- время стабилизации движения нижнего конца трубопровода не зависит от траектории перемещения плавсредства.

Анализ расчетов на компьютере, используя в том числе зависимости (17) – (23) позволил аппроксимировать уравнения скорости движения нижнего конца трубопровода кривой $y = \upsilon\left(1 - e^{-\bar{K}t}\right)$, что определяет уравнения движения $y = \upsilon t + \frac{\upsilon}{\mathrm{k}} e^{-\bar{K}t} + c$ и ускорений $\ddot{y} = \upsilon \bar{K} e^{-\bar{K}t}$. Постоянные С и $\bar{K}$ находятся из условия $t = 0,\ y = 0$, а также из условия, что в установившемся режиме движения, когда $e^{-\bar{K}t} = 0$, отставание нижнего конца трубопровода $\upsilon / \bar{K}$ можно получить положив $\dot{\beta} = \ddot{\beta} = \ddot{y} = 0$ т.е.

$$y^* = \frac{\upsilon}{\bar{K}} = \frac{K\upsilon^2}{q}\frac{\xi_3}{\xi_2} l. \tag{17}$$

Зная скорость движения нижнего конца трубопровода $\dot{y} = \upsilon\left(1 \exp\left(\frac{q\xi_2 t}{K\upsilon\xi_3 l}\right)\right)$ можно найти время разгона t^*, приравнивая разность скорости плавсредства υ и скорости нижнего конца трубопровода $\dot{y}$ заданной точности n в процентах:

$$t^* = \frac{q\xi_2}{K\upsilon\xi_3 l}\ln\frac{100}{n} = \frac{mg\xi\bar{\xi}_2}{K\upsilon\xi_3 l}\ln\frac{100}{n}\ . \tag{18}$$

Так, например, для трубопровода с параметрами, проведенными выше, время стабилизации движения трубопровода с точностью до 5%, согласно (18) $t^* = 3423$ с.

Предполагая мгновенное торможения плавсредства, т. е. полагая в (15) $\dot{y} = \ddot{y} = 0$ и учитывая отрицательный знак относительной скорости движения $sign(-l\beta)$, получим:

$$\ddot{\beta} + \frac{3kl}{4m}\frac{\xi_5}{\xi_1}\dot{\xi}^2 + \frac{3q\xi}{2ml}\frac{\bar{\xi}_2}{\xi_1}\xi = 0 \tag{19}$$

или в линейных перемещениях $y = \beta l$, $\ddot{y} + hy^2 + ay = 0$, $h = 3K\xi_5 / 4m\xi_1$, $\alpha = 3q\xi\overline{\xi}_2 / (2\omega_1 ml)$. Непосредственным интегрированием этого уравнения получим квадрат скорости движения и ускорение нижнего конца трубопровода:

$$y^2 = -\frac{\ddot{y}_0}{h}e^{2h(y_0 - y)} + \frac{\alpha}{2h^2}\left(1 - e^{2h(y_0 - y)}\right) - \frac{\alpha y}{h}; \tag{20}$$

$$\ddot{y} = \ddot{y}_0 e^{2h(y_0 - y)} - \frac{\alpha}{2h^2}\left(1 - e^{2h(y_0 - y)}\right). \tag{21}$$

Начальное ускорение $\ddot{y}_0 = h\dot{y}_0^{\,2} - ay_0$ можно вычислить, т.к. начальная скорость $y_0 = \upsilon$ и начальное отклонение $y_0 = y^*$ известны.

Из (21) следует, что на небольшом участке перемещения нижнего конца трубопровода $y_0 = y$ его ускорения (замедление) стабилизируется, принимая значение

$$\ddot{y}^* - \frac{\alpha}{2h} = -\frac{q\xi\overline{\xi}_2}{k\xi_5 l}. \tag{22}$$

Принимая ускорение (замедление) постоянным, т. е. движение равнозамедленным $y(t) = \upsilon_0^* t + \ddot{y}^* t^2 / 2$, можно найти время торможения трубопровода

$$T = \frac{\upsilon_0^*}{\ddot{y}^*},\ \upsilon_0^* = \sqrt{\frac{\alpha}{h}|y_0| + \frac{1}{2h}} \approx \sqrt{\frac{\alpha}{h}|y_0|}. \tag{23}$$

Выполненные исследования по гидродобычи железо-марганцевых конкреций со дна Мирового океана с помощью эрлифтов, а также схемы и результаты расчета траекторий движения вертикального подъемного трубопровода эрлифта, дали основание:

- получить соответствующие уравнения движения этого трубопровода как жесткого стержня;
- выявить поведение трубопровода и параметры, влияющие на это поведение при перемещении плавсредства;
- определить время торможения трубопровода при некотором постоянном ускорении (замедлении) перемещения плавсредства.

Список литературы: 1. Адамов Б.И. Исследование и разработка глубоководных эрлифтных установок для подъема твердого материала.- Дисс.кант.техн.наук.-Донецк, 1982 год. **2.** Энциклопедия эрлифтов // Ф.А. Папаяни, Л.Н. Козыряцкий, В.С. Пащенко, А.П. Кононенко – М.: Информсвязьиздат, 1995. – 592 с. **3.** Chung J. S., Whithey A. K. Dynamik Vertical Stretching Oscillation of an 18000-ft Ocean Mining Pipe. Annual Oftshore Technological Conferense. Dallas, Tex. Houston, May, 1981, N 81, p. 225-234. **4.** Chung J. S. Whithey A. K. Nonlinear Transient Motion of Deep ocean Mining Pipe. ASME Transactions Journal of Energy Resources technology, Mart, 1981. **5.** Смолдырев А.Е. Трубопроводный транспорт.-М: Недра,1980.-272с. **6.** ШевченкоФ.Л. Устойчивость упругих деформируемых систем.- Донецк:ДПИ, 1986.-52с. **7.** Гідромеханізація: Навчальний посібник // Бойко М.Г., Моргунов В.М., Козиряцький Л.М., Федоров О.В.- Донецьк:ДонНТУ,2011.-554с. **8.** Финкельштейн З.Л., Козыряцкий Л.Н. Средства гидромеханизации: учеб.пособ.- Алчевск:ДонГТУ,2013.-168 с. **9.** Бойко М.Г., Козиряцький Л.М., Кононенко А.П. Землесосні і ерліфтно-землесосні снаряди:Навч.посіб.-Донецьк,2005.-436с.

ОЦЕНКА ПЕРСОНАЛА КАК ИНСТРУМЕНТ МОТИВАЦИИ ТРУДА

Кондаурова И. А. *(ДонНТУ, г. Донецк, ДНР)*
Тел./Факс: +38(071) 3092163; E-mail: inna.a.kondaurova@mail.ru)

Abstract: *The article provides a theoretical analysis of the personnel assessment as an economic category. The relationship of the labor assessment objectivity and the enterprise personnel motivation is shown. The author's vision of the content, methods and procedure of personnel assessment is presented. A systematic personnel development assessment will become the basis for the personnel professional level monitoring, which will affect the increase in objectivity of the enterprise employees' motivational remuneration.*
Keywords: *personnel assessment, labor motivation, competence, staff development monitoring.*

Для успешного формирования и реализации потенциала предприятия необходимы, прежде всего, правильно подобранные кадры, качественная их подготовка, организационная культура, тесное сотрудничество, возможности для проявления инициативы, база знаний, материальное и нематериальное стимулирование. Мощным инструментом мотивации труда является оценка персонала, поскольку на ее основе формируется система мотивационных вознаграждений работников предприятия. Таким образом, актуальным является изучение особенностей оценки персонала на предприятиях с учетом мотивационных факторов.

Значительный вклад в теоретическое обоснование оценки персонала внесли следующие ученые: Базаров Т. Ю., Вучкович-Стадник А. А., Кибанов А. Я., Колот А. М., Лукьянченко Н. Д., Одегов Ю. Г., Феонова М. Р. и др. [1-6].

Однако исследования, проведенные в работах различных ученых, показывают, что вопросы оценки эффективности труда и качества персонала предприятий остается недостаточно решенными, поскольку существует проблема субъективности такой оценки. Поэтому целью статьи является исследование сущности категории и подходов к объективной оценке персонала предприятия как инструмента мотивации труда.

Современные предприятия стремятся успешно функционировать на рынке и получать максимальную прибыль от своей деятельности. Достижение этой цели тесно коррелирует с эффективной работой персонала. Своевременное выяснение вопросов, касающихся переквалификации, повышения квалификации, личных трудовых способностей, выявление сильных и слабых сторон работника, требует внедрения на предприятии единой системы оценки персонала.

Прежде чем разбираться в процессе и методах оценки персонала, определим сущность данной категории (табл. 1).

Таблица 1. Теоретический анализ сущности категории «оценка персонала»

Автор	Определение
Базаров Т. Ю. [1]	Оценка труда – комплекс мероприятий по определению соответствия количества и качества труда требованиям технологии производства
Вучкович-Стадник А. А. [2]	Оценка персонала – это процесс сбора, анализа и оценки информации о том, как работник выполняет порученную ему работу
Кибанов А. Я. [4]	Рассматривает оценку персонала через понятие деловой оценки как целенаправленный процесс установления соответствия качественных характеристик человека требованиям должности или рабочего места
Феонова М. Р. [5]	Оценка персонала – это процесс сбора, анализа и оценки информации о том, как работник выполняет порученную ему работу

По нашему мнению, система оценки персонала – это один из важнейших процессов в системе управления персоналом, который направлен на поиск и оценку соот-

ветствующих знаний, умений, навыков и других качественных характеристик персонала предприятия требованиям определенной должности.

В общем виде система оценки персонала содержит четыре блока [2, 3]: содержание оценки – это объект анализа, конкретные качества человека, его поведение, результаты его труда; система критериев оценки и их измерение; система способов, методов и инструментов оценки; процедура оценки: определяется порядок оценки, место проведения, субъекты оценки, сроки и периодичность оценки, технические и организационные средства, используемые при оценке персонала (табл. 2).

Таблица 2. Составляющие системы оценки персонала предприятия

<table>
<tr><td colspan="6">Содержание оценки персонала</td></tr>
<tr><td colspan="2">Оценка личных качеств и квалификационно-образовательного уровня</td><td colspan="2">Оценка труда работников</td><td colspan="2">Оценка результатов труда работников</td></tr>
<tr><td>Объект</td><td>Критерии</td><td>Измерение и оценка временных затрат труда</td><td>Оценка сложности и содержания труда</td><td>Прямые результаты</td><td>Косвенные результаты</td></tr>
<tr><td colspan="6">Методы оценки</td></tr>
<tr><td colspan="3">Методы получения информации (выявления показателей)</td><td colspan="3">Методы измерения показателей</td></tr>
<tr><td colspan="3">Программа сбора данных</td><td colspan="3">Натуральные и стоимостные показатели</td></tr>
<tr><td colspan="3">Методы сбора данных</td><td colspan="3">Условные показатели: коэффициенты, баллы</td></tr>
<tr><td colspan="3">Методы обработки и оформления информации</td><td colspan="3">Другие методы измерения</td></tr>
<tr><td colspan="6">Процедура оценки</td></tr>
<tr><td colspan="2">Место оценки</td><td>Субъекты оценки</td><td>Порядок и периодичность оценки</td><td colspan="2">Использование технических средств</td></tr>
</table>

Центральным понятием управления персоналом является компетенция, которая представляет собой правильное сочетание способностей, мотивационных установок персонала, а также его личностных качеств, рассматриваемы во временном интервале [4]: личностные свойства (надежность, инициативность, коммуникабельность и т.п.); профессиональные способности работника (опыт работы, объем знаний, профессиональные навыки, уровень образования); мотивационные установки (стремление сделать карьеру, профессиональные, а также личные интересы).

Таким образом, компетенция персонала − категория развивающаяся и очень динамичная, и может быть повышена за счет самообразования, постоянного обучения и т.п. Отсюда можно сделать вывод, что для повышения качества работы, предприятие должно развивать не только компетенции каждого работника, но и формы мотивации труда [4].

В настоящее время широкое распространение получили следующие методы оценки персонала предприятия: анализ человеческих ресурсов (HRA), метод «Assesment Center», метод KPI (Key Performance Indicator – оценка по ключевым показателям эффективности деятельности), метод управления по целям (MBO), «360 аттестация». То есть HR-менеджерам нужно знать и понимать, что для получения правдивой, эффективной и более полной оценки определенного работника на конкретном предприятии на практике необходимо сочетать между собой ряд методов.

Практический опыт показывает, что на конкретном предприятии руководство использует индивидуальный подход к определению критериев, по которым целесообразно оценивать работников. При определении этих критериев распространенной практикой является учет специфики деятельности, корпоративной культуры и требований, предъявляемых к работнику. Можно согласиться с [2], что при формировании показателей аттестации персонала целесообразно руководствоваться двумя основными целями:

определение уровня реализации должностных функций и обязанностей;

выявление перспективных направлений реализации потенциала работников в других направлениях хозяйственной деятельности предприятия.

Кроме того, неотъемлемой составляющей повышения эффективности работы персонала, а также роста уровня его мотивации, выступает мониторинг развития персонала. Процедура мониторинга развития персонала состоит из периодического проведения оценки текущего уровня личностного и профессионального развития специалистов в определенной сфере и установления новых целей, которые должен достичь работник в четко определенный период времени.

Однако, необходимо отметить необходимость соблюдения определенных условий при проведении мониторинга. Во-первых, такой мониторинг должен давать интегральную оценку личности профессионала как целостной системы, что позволит не упустить из виду важные особенности его развития. Во-вторых, для оценки собственно развития, динамики изменения личностных и профессиональных качеств, необходимо наличие сопоставимости между периодически повторяющимися измерениями [3].

Система мониторинга развития персонала предприятия является повторяющимся процессом, состоит из трех основных этапов (рис. 1).

Систематическая оценка развития персонала станет основой для мониторинга профессионального уровня персонала, окажет влияние на процесс пересмотра размера мотивационного вознаграждения, а также поможет сформировать индивидуальные планы профессионального и личного развития сотрудников.

При формировании новой или совершенствовании уже существующей системы оценки персонала необходимо создавать следующие условия: заинтересованность и поддержка руководства организации; ответственность за систему оценки со стороны высококвалифицированных специалистов по управлению персоналом; наличие документов, регламентирующих работу системы оценки персонала; своевременное информирование персонала о содержании и цели проведения оценки; установление четкой связи системы оценки персонала с системой мотивации труда.

В целом процесс оценки персонала должен способствовать повышению мотивации труда и эффективному использованию человеческого капитала в системе управления персоналом.

Рис. 1. Система мониторинга персонала предприятия

Список литературы: 1. Базаров, Т. Ю. Управление персоналом / Т. Ю. Базаров. – Москва : Академия, 2015. – 320 с. **2.** Вучкович-Стадник, А. А. Оценка персонала: четкий алгоритм действий и качественные практические решения / А. А. Вучкович-Стадник. – Москва: Эксмо, 2008. – 192 с. **3.** Геймаров, В. К. Комплексная оценка персонала: / В. К. Геймаров, В. Ионов, Н. Соловьев // Управление персоналом. − 2008. − №7. – С. 12-21. **4.** Кондаурова И. А. Компетентностный подход в процессе формирования человеческого капитала / И. А. Кондаурова // Друкеровский вестник. – № 3. – 2018. – С. 255-263. **5.** Управление персоналом организации: Учебник / Под ред. А. Я. Кибанова. – Москва : ИНФРА-М, 2005. – 638 с. **6.** Феонова, М. Р. Управление персоналом: Методология анализа качества рабочей силы / М. Р. Феонова. – Москва : Наука, 2001. – 214 с.

МЕТОДИЧЕСКИЙ ПОДХОД К ПРОГНОЗИРОВАНИЮ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИХ И ПРОИЗВОДСТВЕННО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РИСКОВ, ВОЗНИКАЮЩИХ ПРИ СОЗДАНИИ ВЫСОКОТЕХНОЛОГИЧНОЙ ПРОДУКЦИИ

Кондратьев А.Г., Игнатов А.В., Власова И.Ю. (*АО «КБП», г. Тула, Россия*)
тел.+7(4872) 469620; E-mail: kbkedr@tula.net

Abstract: *The article describes a methodological approach to forecasting scientific and technical and production-technological risks associated with the occurrence of adverse events that lead to exceeding the planned deadlines for the implementation of measures for the development and serial production of high-tech products.*
Key words: *precision-guided weapons, planning, the probability, the risk, development, production, system principles.*

Государственный промышленный комплекс (ПК) в нашей стране играет ключевую роль в развитии отечественной экономики, поскольку для его развития всегда концентрировались материальные, финансовые, административные, кадровые, информационные и другие ресурсы. Их обоснованию и планированию посвящено значительное количество публикаций, в которых рассмотрены различные аспекты указанных процессов [1, 2, 3, 4].

При планировании проектов и расчетов их эффективности отдельное внимание уделяется управлению рисками, в основу которого положен структурированный подход к управлению неопределенностями, посредством последовательности действий, включая оценку рисков, разработку стратегий для управления рисками, смягчение последствий их наступления при помощи управленческих ресурсов [5].

Следует отметить, что вопросы оценки рисков при создании высокотехнологичной продукции исследованы недостаточно глубоко.

В ходе создания новой продукции решается множество сложных научно-технических и производственно-технологических задач, а также задач, связанных с финансовым обеспечением разработки, изготовления опытных и серийных образцов продукции, а также с проведением большого объема испытаний. Как показывает практика, создание (разработка, производство) перспективных высокотехнологичных образцов может сопровождаться отклонениями от запланированных (прогнозных) объемов финансирования и сроков выполнения программных мероприятий.

В АО «КБП» для решения задач по проектированию и разработке наукоемкой продукции за долгие годы была создана научно-конструкторская школа, основателем которой являлся академик А.Г. Шипунов (1927-2013). В основу ее деятельности положены следующие базовые системные принципы:

1. Использование комплексного подхода при создании новых образцов.
2. Формирование замысла (облика) нового изделия на основе тщательного анализа достижений науки и техники, обобщения опыта и анализа результатов применения аналогов в тесном взаимодействии с научно-исследовательскими организациями России.
3. Использование широкой унификации элементов.
4. Создание научно-технического задела.

Следование указанным системным принципам является определяющим как при выработке направлений развития продукции, так и в процессе её разработки и серийного производства, и позволяет минимизировать риски, сопутствующие формированию планового документа и его реализации.

Процессы принятия решений происходят, как правило, в условиях неопределенности, вызванной следующими факторами [3]:

– неполным знанием всех параметров и обстоятельств, характеризующих возможные ситуации, в которых будет осуществляться разработка и производство перспективного изделия;

– невозможностью получения точной и полной информации о текущем состоянии научно-технической и производственно-технологической базы организаций, участвующих в создании изделия;

– отсутствием достоверной информации о результатах, ведущихся и планируемых научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ в области создания научно-технического задела, необходимого, во-первых, для разработки высокотехнологичной продукции, во-вторых, для серийного производства в организациях ПК;

– наличием фактора случайности в нахождении инженерных и технологических решений, позволяющих создать образец, использующий материалы с новыми свойствами и обладающий новыми возможностями, а также в результатах испытаний и экспериментов, требующих значительных времени и финансовых ресурсов;

– отсутствием достоверной информации о планах развития организаций ПК, являющихся потенциальными разработчиками и производителями составных частей перспективной продукции, и результатах его реализации.

Таким образом, для принятия обоснованных плановых решений в условиях неопределенности требуется оценить научно-технические и производственно-технологические риски, сопутствующие созданию комплексов.

Высокотехнологичный продукт представляет собой совокупность подсистем, при создании каждой из которых используются три составляющие научно-технической и производственно-технологической базы: интеллектуальная, техническая и технологическая.

Интеллектуальная составляющая представляет собой совокупность специалистов в соответствующей предметной области, участвующих в создании подсистемы; техническая составляющая – совокупность оборудования, необходимого для производства опытных и серийных комплексов; технологическая составляющая – комплекс технологий, используемых для разработки и производства.

Так как для создания i-й подсистемы комплекса необходимо одновременно наличие всех составляющих научно-технической и производственно-технологической базы, то вероятность его разработки и серийного производства в планируемые сроки должна определяться по формуле:

$$P_{Ci}(S_{Pi}, S_{СПi}) = P_{Pi}(S_{Pi}) \cdot P_{СПi}(S_{СПi}), \quad (1)$$

где: $P_{Pi}(S_{Pi})$ – вероятность разработки i -й подсистемы в запланированные сроки, при условии, что научно-техническая база будет находится в состоянии S_{Pi};

$P_{СПi}(S_{СПi})$ – вероятность серийного производства i-й подсистемы в запланированные сроки, при условии, что производственно-технологическая база будет находится в состоянии $S_{СПi}$.

Для реализации каждой из указанных стадий жизненного цикла необходимо решить комплекс специфических задач интеллектуального, технического и технологического характера.

В связи с этим для определения значения каждого из сомножителей, входящих в формулу (1), используются выражения:

$$P_{Pi}(S_{Pi}) = P_{РИi}(S_{Pi}) \cdot P_{РТнi}(S_{Pi}) \cdot P_{РТлi}(S_{Pi}),$$

$$P_{СПi}(S_{СПi}) = P_{СПИi}(S_{СПi}) \cdot P_{СПТнi}(S_{СПi}) \cdot P_{СПТлi}(S_{СПi}),$$

где: $P_{РИi}(S_{Pi}), P_{РТнi}(S_{Pi}), P_{РТлi}(S_{Pi})$ – вероятности решения в запланированные сроки всех задач интеллектуального, технического и технологического характера для разработки i-й подсистемы образца, соответственно, при условии, что научно-техническая база организации будет находится в состоянии S_{Pi};

$P_{СПИi}(S_{СПi}), P_{СПТнi}(S_{СПi}), P_{СПТлi}(S_{СПi})$ – вероятности решения в запланированные сроки всех задач интеллектуального, технического и технологического характера для серийного производства i-й подсистемы образца, соответственно, при условии, что производственно-технологическая база организации будет находится в состоянии $S_{СПi}$.

Тогда научно-технический и производственно-технологический риски срыва запланированных сроков разработки и производства i-й подсистемы изделия определяются по формулам:

$$R_{Pi}(S_{Pi}) = 1 - P_{Pi}(S_{Pi}) = 1 - P_{РИi}(S_{Pi}) \cdot P_{РТнi}(S_{Pi}) \cdot P_{РТлi}(S_{Pi}), \quad (2)$$

$$R_{СПi}(S_{СПi}) = 1 - P_{СПi}(S_{СПi}) = 1 - P_{СПИi}(S_{СПi}) \cdot P_{СПТнi}(S_{СПi}) \cdot P_{СПТлi}(S_{СПi}). \quad (3)$$

Пусть для разработки i-й подсистемы комплекса ВТО требуется решить в запланированные сроки $N_{РИi}$ задач интеллектуального характера, $N_{РТнi}$ задач технического характера

и $N_{\text{РТ}л i}$ задач технологического характера, а для серийного производства i-й подсистемы требуется решить аналогичные виды задач в количестве $N_{\text{СПИ}i}$, $N_{\text{СПТ}н i}$ и $N_{\text{СПТ}л i}$.

Тогда значения вероятностей, входящих в формулы (2) и (3), определяются следующим образом:

$$P_{\text{РИ}i}(S_{\text{Р}i}) = \prod_{j=1}^{N_{\text{РИ}i}} P_{\text{РИ}ij}(S_{\text{Р}i}),\ P_{\text{РТ}н i}(S_{\text{Р}i}) = \prod_{\xi=1}^{N_{\text{РТ}н i}} P_{\text{РТ}н i\xi}(S_{\text{Р}i}),\ P_{\text{РТ}л i}(S_{\text{Р}i}) = \prod_{r=1}^{N_{\text{РТ}л i}} P_{\text{РТ}л ir}(S_{\text{Р}i}),$$

$$P_{\text{СПИ}i}(S_{\text{СП}i}) = \prod_{k=1}^{N_{\text{СПИ}i}} P_{\text{СПИ}ik}(S_{\text{СП}i}),\ P_{\text{СПТ}н i}(S_{\text{СП}i}) = \prod_{l=1}^{N_{\text{СПТ}н i}} P_{\text{СПТ}н il}(S_{\text{СП}i}),$$

$$P_{\text{СПТ}л i}(S_{\text{СП}i}) = \prod_{m=1}^{N_{\text{СПТ}л i}} P_{\text{СПТ}л im}(S_{\text{СП}i}),$$

где: $P_{\text{РИ}ij}(S_{\text{Р}i})$, $P_{\text{СПИ}ik}(S_{\text{СП}i})$ – вероятности решения j-й и k-й задач интеллектуального характера, соответственно, при разработке и серийном производстве i-й подсистемы комплекса ВТО в течение срока, который не превышает запланированную продолжительность ее разработки;

$P_{\text{РТ}н i\xi}(S_{\text{Р}i})$, $P_{\text{СПТ}н il}(S_{\text{СП}i})$ – вероятности решения -й и l-й задач технического характера, соответственно, при разработке и серийном производстве i-й подсистемы комплекса ВТО в течение срока, который не превышает запланированную продолжительность ее разработки;

$P_{\text{РТ}л ir}(S_{\text{Р}i})$, $P_{\text{СПТ}л im}(S_{\text{СП}i})$ – вероятности решения r-й и m-й задач технологического характера, соответственно, при разработке и серийном производстве i-й подсистемы комплекса ВТО в течение срока, который не превышает запланированную продолжительность ее разработки.

Используя указанные выражения технологический риск, связанный со срывом запланированных сроков разработки и серийного производства i-й подсистемы комплекса ВТО, определяется по формулам:

$$R_{\text{Р}i}(S_{\text{Р}i}) = 1 - \prod_{j=1}^{N_{\text{РИ}i}} P_{\text{РИ}ij}(S_{\text{Р}i}) \prod_{\xi=1}^{N_{\text{РТ}н i}} P_{\text{РТ}н i\xi}(S_{\text{Р}i}) \prod_{r=1}^{N_{\text{РТ}л i}} P_{\text{РТ}л ir}(S_{\text{Р}i}), \quad (4)$$

$$R_{\text{СП}i} = 1 - \prod_{k=1}^{N_{\text{СПИ}i}} P_{\text{СПИ}ik}(S_{\text{СП}i}) \prod_{l=1}^{N_{\text{СПТ}н i}} P_{\text{СПТ}н il}(S_{\text{СП}i}) \prod_{m=1}^{N_{\text{СПТ}л i}} P_{\text{СПТ}л im}(S_{\text{СП}i}). \quad (5)$$

Для принятия решения о необходимости выработки мер по снижению риска следует оценить значения вероятностей, входящих в выражения (4) и (5).

Определить значения $P_{\text{РИ}ij}(S_{\text{Р}i})$ и $P_{\text{СПИ}ik}(S_{\text{СП}i})$ можно на основе сопоставления сложностей выполненных (выполняемых) работ и планируемой работы. Сложность разработки i-й подсистемы учитывается путем классификации работ на два варианта разработки подсистемы нового поколения – «революционный» и «эволюционный» [4].

При реализации «революционного» варианта происходят такие изменения в конструктивно-компоновочных решениях перспективной подсистемы по сравнению с подсистемой-аналогом (однотипной подсистемой), в результате которых реализуется совокупность научно-технических нововведений, связанных с приданием ей принципиально новых свойств (возможностей).

«Эволюционный» вариант разработки подсистем нового поколения отличается от «революционного» тем, что изменения конструктивно-компоновочных решений перспективной подсистемы не связаны с приданием ей принципиально новых свойств (возможностей), но приводят к существенному улучшению всех ее характеристик.

Необходимость сопоставления сложности выполненных (выполняемых) и планируемых работ обусловлена тем, что вероятность решения любой научно-технической и производственно-технологической задачи в планируемые сроки зависит от опыта проведения аналогичных по сложности работ, квалификации сотрудников и созданного

научно-технического задела в период, предшествующий началу планируемой работы. В противном случае квалификация сотрудников будет формироваться уже в ходе выполнения планируемой работы, что создает угрозу срыва запланированных сроков разработки и серийного производства подсистемы.

Оценка вероятностей $P_{\text{РИ}ij}(S_{\text{Р}i})$, $P_{\text{РТн}i\xi}(S_{\text{Р}i})$ и $P_{\text{РТл}ir}(S_{\text{Р}i})$, а также $P_{\text{СПИ}ik}(S_{\text{СП}i})$, $P_{\text{СПТн}il}(S_{\text{СП}i})$ и $P_{\text{СПТл}im}(S_{\text{СП}i})$, осуществляется экспертами на основе анализа квалификации работников, текущего состояния основных фондов организации, наличия необходимого для своевременного завершения разработки изделия научно-технического задела, а также объемов планируемых инвестиций в развитие научно-технической и производственно-технологической базы. После этого осуществляется оценка по формулам (4) и (5) научно-технического и производственно-технологического рисков превышения запланированных сроков разработки и производства *i*-й подсистемы образца.

Если значения $R_{\text{Р}i}(S_{\text{Р}i})$ и (или) $R_{\text{СП}i}(S_{\text{СП}i})$ оказываются выше приемлемого для заказчика уровня, то следует разработать и реализовать комплекс мер по их снижению. В качестве таких мер могут быть, например:

1. Заблаговременная подготовка соответствующих специалистов в высших и средних специальных образовательных учреждениях.

2. Закупка (разработка) оборудования и технологий, необходимых для планируемых к созданию подсистем перспективного изделия. В связи с тем, что разработка новых технологий и оборудования, а также его монтаж и освоение требуют времени, то необходима увязка времени готовности организаций ПК к изготовлению его подсистем с плановым сроком начала производства.

3. Поэтапное повышение уровня технического совершенства образца.

В следствие более высокого уровня сложности решения научных, технических и технологических задач, которые требуется решить при разработке (серийном производстве) изделия в «революционном» варианте по сравнению с «эволюционным» вариантом, то возможное отклонение фактической продолжительности разработки (серийного производства) от прогнозируемого (планового) значения в «революционном» варианте больше, чем при разработке изделия в «эволюционном» варианте.

Соответственно больше и доверительный интервал продолжительности разработки (серийного производства) комплекса в «революционном» варианте по сравнению с «эволюционным» вариантом, который определяется для фиксированного уровня доверительной вероятности.

Предложенный методический подход позволяет спрогнозировать уровень научно-технического и производственно-технологического рисков срыва запланированных сроков разработки и производства перспективного высокотехнологичного продукта, и при необходимости выработать комплекс мер, направленных на их снижение.

Статья представляет практический интерес для специалистов, занимающихся планированием проектов создания по инновационной высокотехнологичной продукции.

Список литературы: 1. Военно-экономический анализ. Под ред. С.Ф. Викулова - М.: Военное издательство, 2001. – 350 с**. 2.** Мазур И.И. Управление проектами. – Учеб. пособие для студентов, обучающихся по специальности «Менеджмент организации». – 3-е изд. – М.: Омега-Л, 2006. – 664 с. **3.** Лавринов Г.А., Подольский А.Г. Роль и место неопределенности при разработке и применении экономико-математических моделей оценки продолжительности и стоимости мероприятий дорожных карт. Электронный научный журнал «Вооружение и экономика», МО РФ, 2019 № 4 (50) С. 55-61. http://www.viek.ru/43_rus.html. **4.** Буренок В.М., Лавринов Г.А., Подольский А.Г. Оценка стоимостных показателей высокотехнологичной продукции. – М.: Издательская группа «Граница», 2012. – 424 с. **5.** Руководство PMBoK – 6-е изд. – Neqtown Square, PA: Project Management Institute, 2017. – 762 с.

АККУМУЛЯЦИЯ ЭНЕРГИИ – НЕОБХОДИМЫЙ ЭТАП В РАЗВИТИИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ТЕХНОЛОГИЙ

Кондуров Е.П., Кругликов П.А., Сухоруков Ю.Г., Хоменок Л.А.
(*ОАО «НПО ЦКТИ», г. Санкт-Петербург, Россия*)
Тел./Факс: +7(812)578-87-58; E-mail: scheme@ckti.ru; pak47@mail.ru

Abstract: *The main ways of accumulating energy related to the regulation of electricity production and consumption in power grids are considered. The impact of the development of renewable energy sources on the creation of accumulation systems on an industrial scale has been noted. The role of hydro-accumulating power plants, as well as thermal energy storage systems at nuclear power plants, is discussed in detail.*
Key words*: Energy accumulation; Renewable energy; Daily regulation; The power of the drive; Nuclear power plant; Charging and discharge mode*

Человечество на протяжении многих столетий ищет способы сохранения и накопления энергии. Этот относится к аккумулированию механической, тепловой, а позднее и электрической энергии. Первый прообраз электроаккумулятора, базирующийся на химическом источнике тока многоразового действия был создан Иоганном Вильгельмом Риттером в 1803 году.

Проекты так называемого прямого аккумулирования энергии, основанные на использовании электрохимических аккумуляторов и суперконденсаторов, применяемых в транспортной, космической, энергетической областях, в промышленных масштабах связан с рядом технических трудностей.

Серьезной проблемой является создание электрохимических аккумуляторов большой емкости, а с учетом дополнительного использования преобразователей постоянного тока в переменный, сроки окупаемости установок становятся запредельными. Кроме того, у современных электрохимических аккумуляторов сравнительно небольшой срок службы. [1]

Максимальная емкость батарей с электрохимическими аккумуляторами обычно не превосходит единиц МВт.

Существуют системы аккумуляции на базе сжатого воздуха. Технология не получила широкого распространения ввиду определенных трудностей в ее реализации. Закачка воздуха производится под большим давлением ночью в подземные полости природного происхождения или резервуары, изготовленные из больших газопроводных труб. В пиковые периоды воздух выпускается из емкостей, нагревается природным газом и вращает турбину. Демонстрационные установки этого типа, например в США, способны производить аккумуляцию порядка 1,65 МВт·час.

Еще одним типом аккумулирования являются электромеханические накопители. С помощью супермаховиков электрическая энергия преобразуется в кинетическую энергию вращения. Супермаховики при поступлении излишков энергии раскручиваются до 20-50 тыс. оборотов в минуту. Процесс разрядки превращает вращение маховика обратно в электричество через генератор. Количество занесенной энергии зависит от массы маховика, геометрических размеров и скорости вращения. Выработка энергии на них небольшая, диапазон мощности 2-500 кВт, поэтому они рассчитаны на краткосрочные задачи. [2]

Наибольший интерес представляет собой накопление энергии, которая может быть применена в промышленных масштабах, т.е. в крупных объемах. При этом важно сочетание накопления энергии и управления спросом на нее, в особенности на электроэнергию.

Использование принципа аккумулирования тепловой или электрической энергии в энергетике для регулирования нагрузок возможно при создании специальных накопителей энергии или аккумулирующих электростанций.

Энергия, получаемая от возобновляемых источников энергии (ВИЭ), таких как фотоэлементы, ветры, приливы, по своей сути, является изменчивой, т.к. объемы ее производства зависят от времени суток, времени года, фазы луны и такого фактора, как погода. Т.е. ВИЭ создают особые проблемы для энергосистемы в части накопления и аккумулирования энергии.

Потребности в создании систем аккумулирования электроэнергии многократно увеличатся в случае опережающего развития ВИЭ. Негативные системные эффекты, возникающие при развитии ВИЭ, требуют внедрения крупных систем аккумулирования на уровне энергосистем и потребителей.

Именно ориентация на массовое внедрение ВИЭ, в частности солнечных и ветровых, которые отличаются крайне неравномерной выработкой электроэнергии, заставляет уделять исключительное внимание созданию систем аккумуляции в промышленных масштабах.

Самым распространенным способом аккумулирования энергии в промышленных масштабах сегодня является создание гидроаккумулирующих электростанций (ГАЭС). Технология эта начала осваиваться в последнее десятилетие XIX века (Швейцария). Принцип работы ГАЭС прост. Строятся два гидробассейна: верхний и нижний. В период, когда есть излишки электроэнергии,вода электронасосами подается из нижнего бассейна в верхний, и электроэнергия переходит в потенциальную энергию массы воды. При потребности в системе электроэнергии вода сбрасывается из верхнего бассейна в нижний через гидротурбины, ГАЭС работает как обычная гидроэлектростанция и вырабатывает электрическую энергию в сеть (рисунок 1).

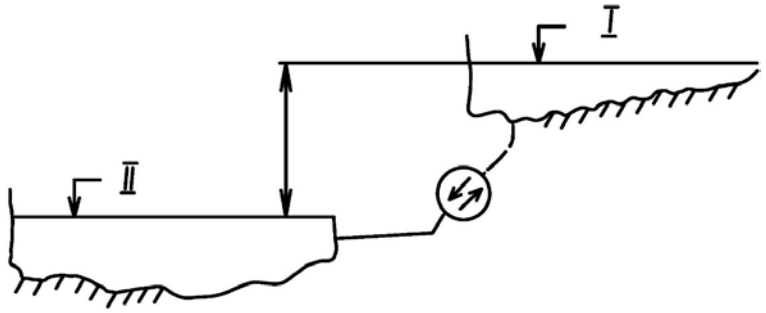


Рис. 1. Схема ГАЭС

ГАЭС являются на современном этапе самыми крупными и хорошо исследованными системами долгосрочного накопления энергии. Они могут использоваться в циклах аккумулирования различной длительности (суточном, недельном, сезонном). На начало 2019 г. в мире работало 209 ГАЭС. Установленная мощность ГАЭС в мире превышает 150 ГВт. Более 50% емкости таких накопителей приходится на Китай, Японию и США. Самые крупные ГАЭС: Бас Каунти (США) – 3000 МВт; Хойчжоу (Китай) – 2450 МВт; Гуандун (Китай) – 2400 МВт.

Быстрее всего ГАЭС развиваются в Китае. Одновременно строится от 10 до 15 ГАЭС, каждая имеет мощность 1000 МВт и выше. Максимально эффективными ГАЭС оказываются в регионах с большой концентрацией угольной и атомной генерации. Так как маневренность этих станций ограничена, ГАЭС дают возможность реализовать потребность в пиковой нагрузке.

Замедление роста мощностей АЭС в мире вызвало корректировки и в планах развития ГАЭС. Кроме того, к недостаткам ГАЭС следует отнести большие капитальные вложения, длительные сроки строительства и влияние на окружающую среду (затопление площадей, колебания уровня воды). В России действует Загорская ГАЭС в Московской области. Мощность ее в режиме генерации 1200 МВт. Строилась вторая очередь этой станции мощностью 840 МВт. После техногенной аварии 2013 г., связан-

ного с просадкой грунта, строительство было приостановлено, но затем в 2018 г. принято решение РусГидро о возобновлении работ.

К 2030 г. мощности крупнейших ГАЭС в РФ должны достигнуть: Ленинградская – 1560 МВт; Загорская -2 – 840МВт; Центральная - 2600 МВт [3].

ГАЭС остаются самым распространенным способом аккумулирования энергии в промышленных масштабах. В таблице 1 приведена в процентном отношении мощность энергонакопителей в мире.

Таблица 1. Мощность энергонакопителей в мире

Тип энергонакопителя	ГАЭС	Электрохимические накопители	Маховики	Сжатый воздух
% мощности	98,2	1,0	0,56	0,24

Существуют еще ряд проектов аккумуляции энергии, считающихся перспективными. В Германии и Канаде разрабатываются проекты с подводными накопителями энергии. На морском дне на глубине 600-800 м устанавливаются бетонные шары диаметром до 30 м. В полом корпусе сверху устанавливается турбонасос (аналогичный ГАЭС). При открытии клапана вода через турбину поступает внутрь шара и вырабатывается электроэнергия. Откачка воды идет с затратами энергии. Этот проект считается перспективным для ветропарков расположенных в морской и прибрежных зонах.

Еще один проект считающийся перспективным разрабатывается в России новосибирской компании «Энергозапас» при поддержке «Роснано». Это проект твердотельной аккумулирующей электростанции (ТАЭС). В основе идеи лежат лифты, приводы которые могут работать как в режиме электрогенератора, так и электродвигателя. Во время ночного провала нагрузки ТАЭС расходует электроэнергию на подъем грузов лифтами вверх. Во время пиков энергопотребления грузы в лифтах перемещаются вниз под действием силы тяжести, и приводы их работают как электрогенераторы (рис.2).

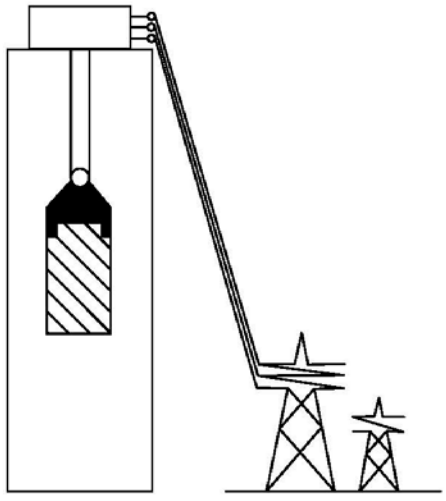


Рис. 2. Схема ТАЭС

К преимуществам ТАЭС перед ГАЭС ее разработчики относят меньшую площадь при равной емкости и возможность строительства в любом удобном месте. В 2017 г. был опробован прототип ТАЭС с башней высотой 20 м.

В течении 4-5 минут прототип показал возможность потребления электроэнергии из сети или возврата ее обратно с номинальной мощностью 10 кВт. Следующим этапом предполагается строительство опытно-промышленной ТАЭС мощностью 4МВт (предполагаемая высота 80 м). Оценки показывают, что для создания промышленной ТАЭС мощностью 1ГВт потребуется башня высотой 300 м, что эквивалентно высоте Эйфелевой башни [4].

Запрос на необходимость аккумулирования энергии во многом связан с необходимостью для электростанций, работающих в энергосистеме участвовать в регулировании диспетчерского графика, вплоть до ежесуточного изменения нагрузки. В то же время, целесообразно предельно загружать электростанции с минимальной стоимостью топлива и наименьшим экологическим воздействием на окружающую среду. Таковыми в настоящее время являются АЭС. Вместе с тем, требование работы реактора с измене-

нием тепловой мощности в режиме регулирования, связано с рядом факторов влияющих на безопасность и надежность работы АЭС. Меняется средняя температура теплоносителя, ведущая к увеличению термоциклической нагрузки оболочек ТВЭЛ, к концу топливного цикла возникает ксеноновое отравление, исключающее работу в регулировочном диапазоне.

Возможным направлением исключения неблагоприятного влияния на реактор изменения мощности, является создание на АЭС системы аккумулирования тепловой энергии (САТЭ). Суть ее заключается в том, что во время ночной электрической нагрузки за счет нагрева свежим паром высокотемпературного теплоносителя, происходит его накопления в баке-аккумуляторе (режим зарядки), а в периоды пиковой или полупиковой нагрузок энергосистемы основной конденсат турбоустановки нагревается этим теплоносителем (режим разрядки). Уменьшение отборов пара на нагрев конденсата в регенеративных подогревателях, приводит к увеличению расхода в конденсатор и к увеличению электрической мощности установки.

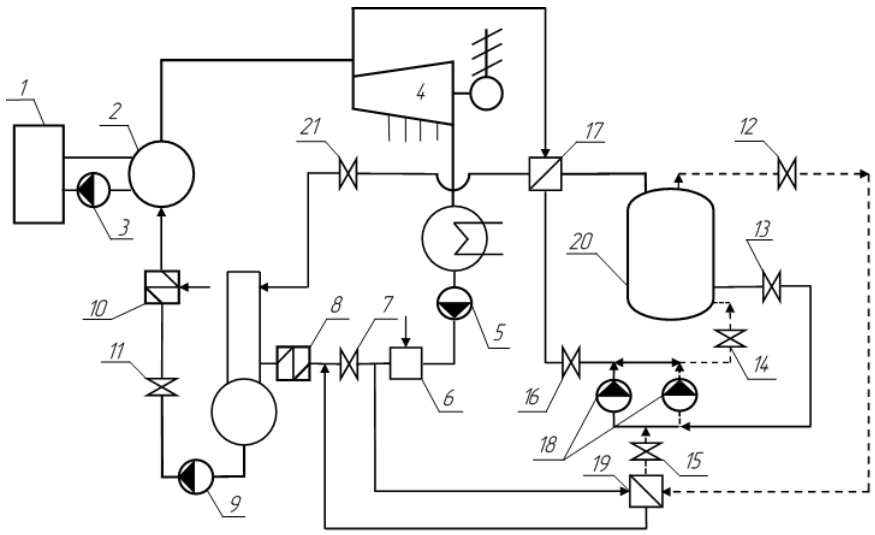


Рис. 3. Принципиальная схема включения САТЭ во второй контур АЭС.

1 - реактор; 2 – парогенератор; 3 – циркуляционный насос 1-ого контура; 4 – турбоустановка; 5 – конденсатный насос; 6 – первая группа ПНД; 7 – разделительная задвижка на тракте основного конденсата; 8 – вторая группа ПНД; 9 – питательный насос; 10 – группа ПВД; 11 – задвижка на тракте питательной воды; 12, 13, 14, 15, 16, 21 – регулировочные задвижки с электроприводом (РЗЭ); 17 – теплообменник для нагрева теплоносителя в режиме зарядки аккумулятора теплоты (АТ); 18 – циркуляционные насосы на тракте высокотемпературного теплоносителя теплоаккумулирующей системы; 19 – теплообменник для нагрева основного конденсата в режиме разрядки АТ; 20 – технологический бак АТ

Наличие САТЭ позволит АЭС работать по диспетчерскому графику нагрузки при постоянной тепловой мощности реактора, а дополнительная выработка электроэнергии в режиме разрядки будет осуществляться без дополнительного расхода ядерного топлива.

В настоящее время разработана принципиальная схема АЭС с САТЭ применительно к реакторам ВВЭР, выполнены технические предложения по теплообменникам зарядки и разрядки, проведена оценка экономической эффективности создания АЭС ВВЭР с САТЭ [5]. На рисунке 3 приведена принципиальная тепловая схема турбоустановки АЭС с САТЭ.

Нагрев высокотемпературного теплоносителя (масла) в представленной схеме производится теплотой конденсации в теплообменниках зарядки свежего пара, отбираемого из основного потока в часы снижения нагрузки. Нагретое масло накапливается в специ-

альных баках и может, в случае необходимости, возвратить тепло рабочей среде (основному конденсату и питательной воде) энергоблока. Возврат тепла производится в теплообменниках разрядки САТЭ, байпасирующих регенеративные теплообменники, что позволяет полностью или в значительной степени исключить отбор пара на подогрев конденсата и питательной воды, и тем самым использовать его на увеличение мощности турбины.

Конденсат греющего пара из теплообменников зарядки подается на вход парогенераторов. Высокотемпературный теплоноситель после теплообменника разрядки подается в нижнюю часть бака-аккумулятора, ориентировочной емкостью 40000 м^3. Это позволяет энергоблоку участвовать в покрытии полупиковой и пиковой нагрузок энергосистемы до 7,5 часов в сутки.

Расчеты показали, что в зависимости от соотношения времени разрядки и зарядки САТЭ снижение электрической мощности энергоблока 1260 МВт может достигать 535 МВт. Принципиально возможное увеличение электрической мощности в режиме разрядки при отключении ПНД-3,4, частично деаэратора и ПВД-6,7 составляет 200 МВт. Критерием оптимизации для заданных условий являлся годовой экономический эффект (ΔЭ) с учетом работы АЭС в переменной части графика нагрузки и минимизации капитальных затрат в САТЭ.

$$\Delta Э = С_э^д \Delta N_р \tau_р h - С_э^н \Delta N_з \tau_з h - a \cdot K$$

$С_э^д$, $С_э^н$ – тарифы на электроэнергию в период дневного максимума и ночного минимума нагрузки;

$\Delta N_р$, $\Delta N_з$ – увеличение и снижение электрической мощности при разрядке и зарядке САТЭ;

$\tau_р$, $\tau_з$ – время разрядки и зарядки САТЭ в сутки ;

h - число дней в году;

K, a – капитальные затраты САТЭ и коэффициент отчислений.

Удельные затраты для АЭС с САТЭ примерно в 2,5 – 3 раза ниже, чем для ГАЭС, а экономическая эффективность обеспечивается при соотношении тарифов пиковой и базовой нагрузки не менее 3 [5].

Заключение

1. Наиболее распространенным накопителем энергии в мире являются ГАЭС, дающие возможность аккумулировать энергию в промышленных масштабах и выполнять функцию регулирования производства и потребления электроэнергии в рамках энергосистем.

2. Для электростанций с минимальной стоимостью вырабатываемой электроэнергии, ориентированных на работу в базовом режиме, каковыми на сегодня являются АЭС, перспективной следует признать систему аккумулирования тепловой энергии (САТЭ), позволяющую расширить регулировочный диапазон АЭС и выравнивать колебания нагрузки энергосистем.

Список литературы: 1. Бруссили М., Пистойя Дж. (ред.) Промышленное применение аккумуляторных батарей. От автомобилей до авиакосмической промышленности и накопителей энергии. - Техносфера (2011),784с. **2.** Д. Станкевич Общесистемные накопители энергии, Вести в энергетике, №1, 2019, 70-74 с. **3.** Герасимов М. Роль и перспектива ГАЭС в Единой энергосистеме России. Профессиональный журнал Энергорынок, №3, 2017, 148 с. **4.** А. Орлов Установки накопления и сохранения энергии – как обстоят дела в России. «Энергия: экономика, техника, экология», №6, 2018, 79-80 с. **5.** Кругликов П.А., Рудченко С.А., Смолкин Ю.В., Сухоруков Ю.Г. О возможности создания системы аккумулирования тепловой энергии для инновационных ядерных установок большой мощности. IV МНТК «Инновационные проекты и технологии ядерной энергетики» НИКИЭТ-2016, Сборник докладов, М. 2016.

ПОДГОТОВКА ИНЖЕНЕРНЫХ КАДРОВ ДЛЯ КАМЧАТСКОГО КРАЯ

Костенко А.В., Игнаткина Е.Л.
(КамчатГТУ, г. Петропавловск-Камчатский, Россия, ДонНТУ, г. Донецк, ДНР)
Тел. +7(984)1637436; e-mail: andr13kost@list.ru

Abstract: *The article shows the development prospects of the mining industry of Kamchatka. The relevance of training engineering personnel and the introduction of a dual education system is shown.*

Key words: *engineering personnel, mining, dual education, competencies, practice-oriented training.*

Одним из приоритетных направлений развития промышленности Камчатского края является развитие горнодобывающей промышленности как фактора диверсификации и усиления конкурентных преимуществ региональной экономики [1].

В настоящее время предприятия горнопромышленного комплекса Камчатского края развиваются в условиях низкой степени изученности минерально-сырьевой базы региона, дефицита кадров и инфраструктуры.

Развитию горнодобывающей промышленности Камчатского края способствуют: 1) системообразующая роль добывающей промышленности, позволяющая комплексно развивать рассредоточенные по всему Камчатскому полуострову минерально-сырьевые ресурсы; 2) необходимость диверсификации экономики региона; 3) инвестиционные интересы крупных российских и зарубежных компаний.

Увеличение объемов добычи драгоценных и цветных металлов, углеводородного сырья, твердых горючих ископаемых, строительных материалов предполагается за счет освоения разведанных месторождений.

Рост объемов добычи и реализации золота обеспечит строительство:

а) горнообогатительных комбинатов (далее ГОК): Кумроч», «Озерковский», «Ветроваямский», «Малетоймаямский»;

б) горнодобывающих предприятий: «Оганчинское», «Бараньевское» и др.;

Рост добычи каменного угля обеспечит разработка Крутогоровского месторождения каменного угля, где планируется создание обогатительного комбината. В настоящее время Ягодинское и Крутогоровское месторождения числятся в нераспределенном фонде недр. Планируется строительство камчатского горнометаллургического комбината по глубокой переработке титаномагнетитового песка Халактырского месторождения. Аметистовое месторождение России является крупнейшим золотым и серебряным месторождением на Камчатке. На сегодня его запасы составляют 53 тонны золота и 164 тонны серебра. Компания «Золото Камчатки» владеет всеми необходимыми лицензиями на разработку месторождений золота на двух горно-обогатительных комбинатах - «Агинский» и «Аметистовое». В настоящий момент, предприятие добывает более 5 тонн золота в год. Ожидается, что открытая добыча руды на Аметистовом месторождении будет идти около 10 лет, за это время будет извлечено около 20 тонн золота. Еще примерно 30 тонн золота компания «Золото Камчатки» планирует добыть подземным способом. [2]

Таким образом, для Камчатского края актуальным является необходимость подготовки кадров инженерных специальностей для горной промышленности на Камчатке. Отметим, что инженеры нужны не только для горной промышленности, но для жилищно-коммунального хозяйства, транспортной отрасли, рыбопереработки и др. отраслей экономики Камчатского края.

Камчатский государственный технический университет является старейшим вузом Камчатского края. Традиции, опыт, научно-педагогический потенциал позволяют вузу успешно осуществлять подготовку высококвалифицированных специалистов для различных отраслей экономики Камчатского края и не только. Будучи безусловным лидером подготовки инженерных кадров для Камчатского края университет имеет возможность реагировать на запросы в трудовых ресурсах для экономики Камчатки и обеспечить подготовку необходимых специалистов. В том числе, в полной мере это относится и к специалистам по горному делу.

Наличие опытных преподавателей, возможность привлечения специалистов для проведения теоретических и практических занятий позволяет университету открывать новые

специальности и направления подготовки как бакалавров, так и магистров, а также вводит новые специализации и профили в направления по которым уже ведется подготовка. При проявлении заинтересованности со стороны производственников с целью практико-ориентированной подготовки кадров и обучению инновационным технологиям в горном деле ВУЗ имеет возможность создания современных лабораторий или открытия филиалов кафедры технологических машин и оборудования (ТМО), ведущей подготовку механиков, непосредственно на производстве. Это даст возможность формирования у выпускника компетенций, необходимых для осуществления трудовой деятельности на производстве. На рис. 1 приведена схема системы подготовки механика на кафедре ТМО.

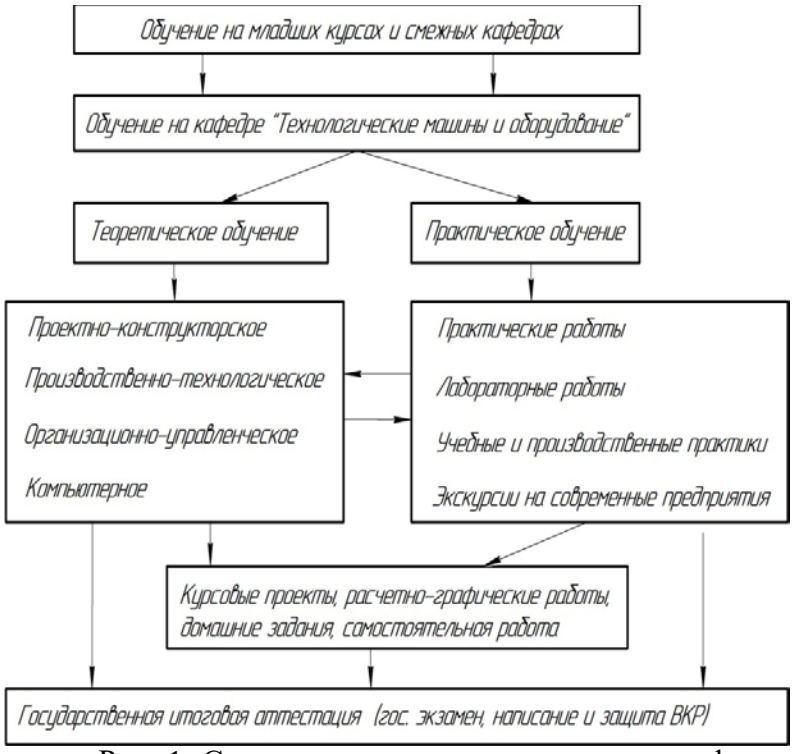


Рис. 1. Система подготовки механика на кафедре ТМО КамчатГТУ

В современных условиях при подготовке специалистов инженерных специальностей большое внимание следует уделять внедрению дуальной системы обучения [3], позволяющей максимально совмещать практическую и теоретическую подготовку и приблизить знания, умения и навыки выпускника к требованиям производственников. Формирование компетенций у студента происходит и в учебном заведении, и на производстве.

Для реализации дуального образования при подготовке инженерных кадров для Камчатского края необходимо решение нескольких основных задач:

- определить перечень специальностей и направлений подготовки, которые необходимы Камчатке;
- определить предприятия для реализации дуальной модели образования;
- определить требования к предприятиям и университету;
- совместно с производственниками определить требования компетенциям выпускника;
- обеспечить создание в ВУЗе необходимых лабораторий, мастерских;
- обеспечить создание или выделение на предприятиях лекционных аудиторий, учебных полигонов и лабораторий для обучения по дуальной системе;
- вести обязательную стажировку преподавателей специальных дисциплин как на современных предприятиях, так и на курсах повышения квалификации или профессиональной переподготовки.

Таким образом, реализация дуального образования в КамчатГТУ позволит решить задачу подготовки инженерных кадров для потребностей Камчатского края.

Список литературы: 1. Стратегия социально – экономического развития Камчатского края до 2030 года [Электронный ресурс]. – URL: http://strategy2030.kamgov.ru/ (дата обращения 18.05.2020). **2.** Аметистовое месторождение золота [Электронный ресурс]. – URL: https://goldomania.ru/gold_deposits/russia/ametistovoe.html (дата обращения 18.05.2020). **3.** Харитонова Н.Д. Дуальная система образования в высшей школе: эффективность внедрения // Электронный научно-методический журнал Омского ГАУ. – 2017. – Спецвыпуск №3. - URL https://cyberleninka.ru/article/n/dualnaya-sistema-obrazovaniya-v-vysshey-shkole-effektivnost-vnedreniya/viewer (дата обращения 18.05.2020).

ОСОБЕННОСТИ ПРЕПОДАВАНИЯ ТЕОРИИ ПОДОБИЯ СТУДЕНТАМ-МАШИНОСТРОИТЕЛЯМ В НГТУ

Крамаренко Н.В. *(НГТУ, г. Новосибирск, Россия)*
М/тел: +7(913)4564328; E-mail: n.kramarenko@corp.nstu.ru , teormech@ngs.ru

Abstract: *Theory of similarity is the theoretical basis for modeling and drafting experiments. In addition, it can be used to conduct a comparative analysis of changes in the desired parameters of the problem without solving equations and without conducting experiments. All arguments in similarity theory are based on dimensionless power complexes, which are called similarity criteria (numbers). The article specifies the key features that should be paid attention to when teaching students.*
Key words: *theory of similarity, the methods of similarity, dimensional analysis, similarity criterion, the number of similarity.*

Введение. Теория подобия преподается во многих вузах. О желательности преподавания теории подобия для студентов технических специальностей говорится уже давно. Например, в 1979 году на Всесоюзном совещании-семинаре заведующих кафедрами механики вузов страны Л.Г. Лойцянский в своем докладе [1] отмечал «важность введения в преподаваемые курсы теоретической механики хотя бы элементарных сведений о подобии и размерности». В 1998 году такую же мысль высказывал И.Ш. Коган [2]: «Основы теории подобия следует излагать перед началом изучения технических дисциплин, с тем чтобы применять полученные знания при изучении каждой из них».

Термины. В литературе используются термины «**методы** подобия» и «**теория** подобия». Какой более правильный? С общефизической точки зрения теорией можно называть такой раздел физики, где изучаются те или иные реальные физические процессы, происходящие с веществом или полем. Поэтому с этих позиций правильнее говорить «методы подобия» в той или иной физической теории, по аналогии с названиями других методов, например, численные методы, вариационные методы. С математической точки зрения все методы решения физических задач имеют свою теорию, и с этих позиций естественно говорить «теория подобия». В данной работе будем употреблять оба термина.

Кроме того, в литературе используется термин «теория подобия и анализ размерностей». Т.е. теория **подобия** противопоставляется анализу **размерностей**. Такое противопоставление может сформировать неправильное понимание предмета. Для целостного восприятия методов подобия будем вместо термина «теория подобия» использовать термин «анализ уравнений». Таким образом, теория подобия делится на два направления - анализ уравнений и анализ размерностей [8, 9]. В обоих направлениях основной целью является получение чисел (критериев) подобия, описывающих задачу в безразмерном виде. Такая терминология не нова, она встречается, например, в работах М.В. Кирпичёва [3, с.90], С.С. Кутателадзе [4, введение]. Добавим, что в [4] термины «теория» и «методы» подобия заменены единым термином «анализ» подобия.

Еще одна неоднозначность возникает при употреблении терминов **критерий** подобия и **число** подобия. Согласно Сборнику рекомендуемых терминов по теории подобия [5] эти термины равнозначны, и на английском языке они обозначаются единым выражением *similarity criterion.* Для того, чтобы отличать входные параметры задачи от выходных в [5] вводятся понятия **определяющего** и **определяемого** критериев подобия. Под определяющим (англ. *independent similarity criterion*) понимается критерий подобия, содержащий независимую переменную, под определяемым (англ. *dependent similarity*

criterion) – критерий подобия, содержащий зависимую переменную (искомую величину). Для того, чтобы выделить эти различия, например, в [6] для определяющих критериев вводится подчеркивание. В противоположность Сборнику [5] Л.Г. Лойцянский [1] для разграничения понятий называет **критериями** только определяющие критерии подобия, а под **числами** подобия понимает все критерии – и определяющие, и определяемые: «критериев подобия меньше, чем чисел подобия». В качестве обоснования такой позиции Л.Г. Лойцянский приводит рассуждение о том, что если равны критерии, то подобие двух сравниваемых явлений (модели и натуры) будет обеспечено независимо от остальных чисел подобия.

Этапы прогнозирования. Конечной целью использования методов подобия является качественный, либо количественный прогноз для выходного параметра задачи, который строится на основании чисел подобия. Общую схему работ с использованием чисел подобия можно представить в виде четырех этапов, показанных на рисунке 1. Далее рассмотрим эти этапы более подробно.

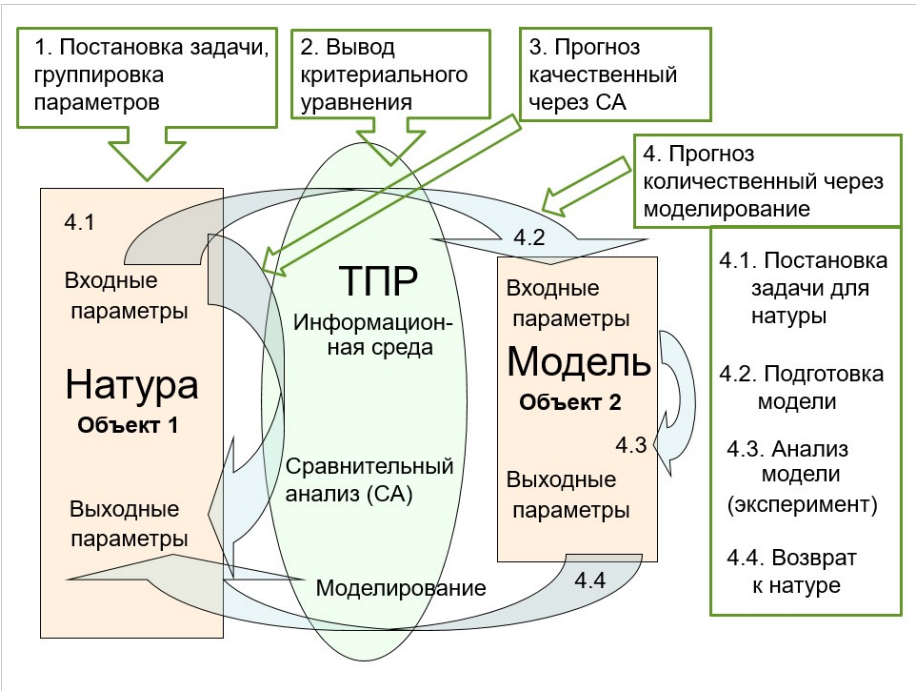


Рис. 1. Место теории подобия и размерностей (ТПР) в сравнительном анализе и моделировании

Вывод критериального уравнения (этап2). В классическом представлении числа подобия можно получить двумя путями: либо из дифференциальных уравнений, описывающих процесс, либо из анализа размерностей параметров задачи. В учебном пособии [8] рассмотрены пять способов вывода чисел подобия из дифференциальных уравнений, в [9] - семь способов вывода чисел подобия из анализа размерностей. Оба подхода дают одинаковые числа подобия. Покажем это на примере определения периода больших колебаний математического маятника. Если исходить из дифференциальной постановки задачи

$$\ddot{\varphi}+\frac{g}{l}\sin\varphi=0,\ \text{при}\ t=0:\ \varphi=\varphi_0,\ \dot{\varphi}=0,$$

то после приведения ее к безразмерному виду получим

$$\frac{d^2\varphi}{d\bar{t}^{\,2}}+\pi_1^2\sin\varphi=0,\quad \text{при}\ \bar{t}=0:\ \varphi=\pi_2,\quad \frac{d\varphi}{d\bar{t}}=0,\ \text{где}\ \ \pi_1=T\sqrt{\frac{g}{l}},\quad \pi_2=\varphi_0.$$

Если исходить из анализа размерностей, то задача ставится как отыскание периода колебаний T как функции остальных параметров задачи:

$$T = f_1(l, m, g, \varphi_0).$$

Из Пи-теоремы подобия следует, что вместо пяти величин можно рассматривать только три размерные (m, l, T) и две безразмерные величины

$$\pi_1 = T\sqrt{g/l}, \quad \pi_2 = \varphi_0, \quad \text{причем } \pi_1 = f_2(\pi_2) \tag{1}$$

В обоих случаях получаем одинаковые числа подобия π_1 и π_2 .

Сравнительный анализ (этап 3). Общая методика сравнительного анализа параметров задачи основана на условии безразмерности чисел подобия. Из этого условия можно определить во сколько раз изменится выходной параметр, если изменятся входные величины. Например, для математического маятника из первого числа подобия найдем период колебаний с точностью до константы π_1 :

$$T = \pi_1\sqrt{l/g}\,.$$

Отсюда видно, что если увеличить длину маятника в 4 раза, то период увеличится в 2 раза.

Моделирование (этап 4). Общая методика моделирования в механике в соответствии с рисунком 1 включает четыре операции. Вначале необходимо поставить задачу для натуры в безразмерном виде (операция 4.1). Затем подготовить модель с соблюдением законов подобия (операция 4.2). Далее проводится анализ модели через эксперимент (операция 4.3), т.е. измеряется искомый параметр при известных значениях входных параметров. В конце производится возврат к натуре (операция 4.4), т.е. измеренный выходной параметр модели пересчитывается на натуру через масштаб выходного параметра.

Покажем это на примере математического маятника. Задача в безразмерном виде определяется выражениями (1). Все дальнейшие процедуры удобно оформлять в виде таблицы проектирования эксперимента [8] (см. табл. 1).

Таблица 1. Таблица проектирования эксперимента

Натура	Коэффициенты подобия	Модель
1. Входные параметры натуры $l \quad g$	$l_C = \frac{l_1}{l} \quad g_C = \frac{g_1}{g}$	2. Входные параметры модели $l_1 \quad g_1$
4. Выходной параметр натуры вычисляем (прогнозируем) $T = \frac{T_1}{t_C}$	Из условия подобия $\pi_1 = idem$ $t_C = \frac{T_1}{T} = \sqrt{\frac{l_C}{g_C}}$	3. Выходной параметр модели измеряем в эксперименте T_1

В литературе встречаются различные классификации этапов моделирования. Например, в [7] инженерный эксперимент делится на 7 этапов, перечисленных в первом столбце таблицы 2. В [6] предлагается различать 9 этапов моделирования, которые перечислены во втором столбце таблицы 2. Обе классификации носят субъективный характер и могут подвергаться критике. Предлагаемый здесь подход деления работ по моделированию на 4 процедуры отражается в третьем столбце таблицы 2 и естественным образом согласуются с методикой рассуждений по теории подобия.

Таблица 2. Классификации этапов моделирования

Этапы моделирования по [7]	Этапы моделирования по [6]	Этапы по [8]
1. Постановка задачи с четким формулированием цели исследования. 2. Разработка подробного плана и основ методики эксперимента.	1. Подготовительные мероприятия. 2. Постановка задачи исследования. 3. Установление условий подобия модели и натуры. 4. Проектирование эксперимента на модели.	1. Постановка задачи для натуры.
3. Изготовление и подготовка экспериментальной установки.	5. Изготовление модели и приспособлений для осуществления эксперимента.	2. Подготовка модели.
4. Проведение эксперимента. 5. Обработка исходных опытных данных.	6. Проведение эксперимента. 7. Обработка экспериментальных данных.	3. Анализ модели (проведение эксперимента)
6. Обобщение и анализ результатов измерений. 7. Формулирование выводов и рекомендаций по результатам эксперимента.	8. Переход от модели к натуре. 9. Анализ результатов моделирования и рекомендации для проектирования натурного объекта.	4. Возврат от модели к натуре

Учебный план. В НГТУ учебный план для студентов-машиностроителей очного отделения предусматривает 8 лекций и 8 практических занятий в аудитории, самостоятельное выполнение расчетно-графической работы, итоговую аттестацию в виде зачета. Заинтересовавшиеся предметом студенты выполняют дополнительные задания, которые затем оформляются в виде докладов на конференциях [10, 11].

Список литературы: 1. Лойцянский Л. Г. Методы подобия и размерностей в механике жидкости и газа. - Сб. метод. статей по теорет. механике, вып. 11. - М.: Высшая школа, 1981, с. 22-31. **2.** Коган И.Ш. О желательности расширения масштабов применения теории подобия при преподавании технических наук. –«Машиностроение. Конструкции и технологии». Сборник научных трудов ВятГТУ, Киров, 1998, т.3, с.64-69. **3.** Кирпичёв М.В. Теория подобия. – М.: АН СССР, 1953. – 96 с. **4.** Кутателадзе С. С. Анализ подобия и физические модели. — Новосибирск: Наука, 1986. – 296с. **5.** Основы теории подобия и моделирования. Терминология. Сборник рекомендуемых терминов. Вып. 88. М.: Наука, 1973. – 50 с. **6.** Шаповалов Л.А. Моделирование в задачах механики элементов конструкций. – М.: Машиностроение, 1990. – 288 с. **7.** Методы планирования и обработки результатов инженерного эксперимента: Учебное пособие / Н.А. Спирин, В.В. Лавров, Л.А. Зайнуллин, А.Р. Бондин, А.А. Бурыкин; Под общ. ред. Н.А. Спирина. — Екатеринбург: ООО «УИНЦ», 2015. — 290 с. **8.** Крамаренко Н.В. Методы подобия в механике. Анализ уравнений: учебное пособие – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2018. – 124 с. **9.** Крамаренко Н.В. Методы подобия в механике. Анализ размерностей: учебное пособие – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2020. – 212 с. **10.** Крамаренко Н. В. Ситнов К. В. Теория подобия и спецэффекты в кино. - «Наука. Промышленность. Оборона»: тр 15 Всерос. Науч.-техн. конф., Новосибирск, 23-25 апр. 2014 г. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2014. С. 347-351. **11.** Крамаренко Н.В., Капустина А.А., Лаврина В.М., Скоробогатова А.А. Использование теории подобия для проведения инженерного эксперимента. - «Наука. Промышленность. Оборона»: тр. 20 Всерос. науч.-техн. конф., Новосибирск, 17–19 апр. 2019 г. В 4 т. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2019. – Т. 1. – С. 96-101.

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОБРАБОТКИ ТОРЦОВЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ЗУБЬЕВ ПЕРЕКЛЮЧАЕМЫХ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС

Лахин А.М., Дьяченко Е.А., Лось Е.П., Пилякин Г.П.
(ДонНТУ, г. Донецк, ДНР)

Abstract: *In this paper, we consider a method for processing the end surfaces of teeth of switchable gears, based on the processing of sharp-angled ends of teeth with a flexible abrasive wheel.*

Key words: *surfaces, switchable gears, the gear teeth end, gear teeth processing.*

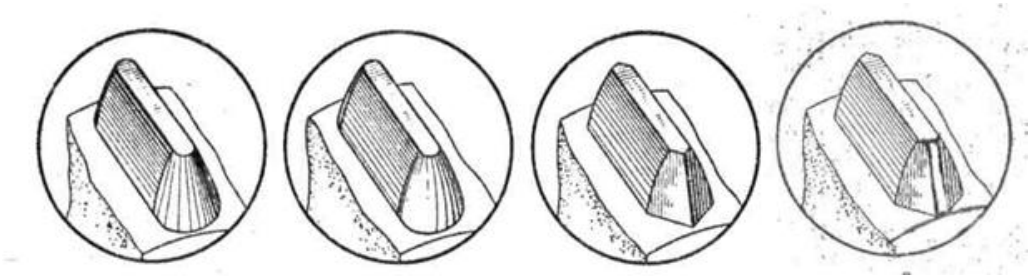
Введение. В современных коробках скоростей широко используются зубчатые колеса и зубчатые блоки, переключение скоростей в которых осуществляется путем продольного перемещения зубчатых блоков вдоль оси вала [3]. Для надежного вхождения в зацепление и исключения заклинивания механизмов переключения скоростей торцы зубьев выполняются не плоскими, сложной формы, способствующей соскальзыванию тоцев при продольном контакте зубьев в момент переключения и вхождение в зацепление пары зубьев [3]. Однако такая форма несколько усложняет технологический процесс производства зубчатых колес, требуя дополнительную зубозакругляющую или торцефрезерную операцию. Кроме того торцы зубьев таких колес, в следствии постоянного контакта в момент переключения скоростей, подвержены высокому механическому износу а также последующему заеданию по причине образования забоин на торцах зубьев. Поэтому цель настоящей работы, является повышение эффективности обработки торцовых поверхностей зубьев за счет разработки нового способа обработки остроугольных кромок.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

1. Выполнить анализ форм торцов зубьев переключаемых зубчатых колес.
2. Исследовать особенности обработки торцовых поверхностей зубьев.
3. Предложить способ окончательной обработки торцовых поверхностей зубьев, позволяющий повысить эффективность данной операции.

Основное содержание и результаты работы.

В конструкциях переключаемых зубчатых колес наиболее распространенными являются следующие формы торцовых поверхностей [2]: закругленные конусные (рис.1,а), закругленные бочкообразные (рис.1,а), заостренные типа «домик» (рис.1, в) и заостренные с ленточкой (рис.1, г).



а) б) в) г)

Рис. 1. Формы торцов зубьев переключаемых зубчатых колес: а -конусная (радиусная); б – бочкообразная (сфероидальная); в – заостренная типа «домик»; г - заостренная с ленточкой

Закругленные конусные торцы позволяют сглаживать вхождение в зацепление пары зубьев, если одно из колес является свободно вращающимся. Такие зубчатые

колеса позволяют переключать скорости даже на малом ходу, без остановки механизма. В производстве такие зубчатые колеса могут быть получены при обработки конусными пальцевыми фрезами при согласованном движении фрезы и заготовки зубчатого колеса, не требуя специального инструмента (рис. 2).

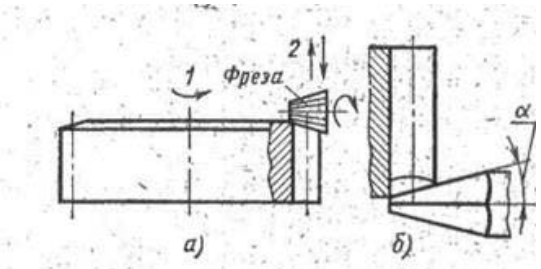
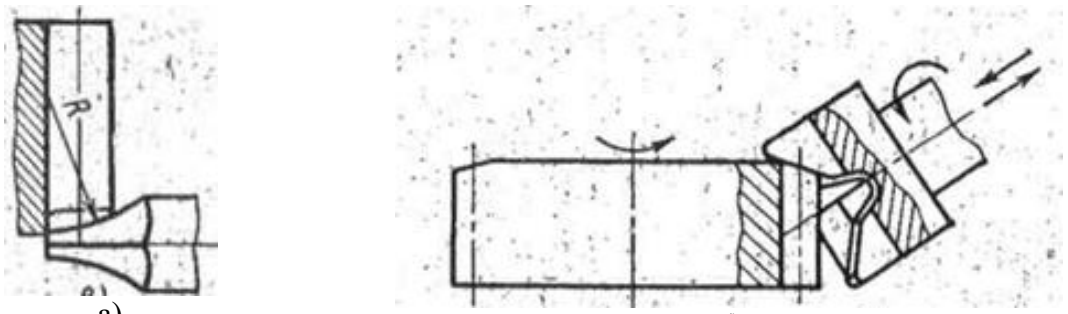


Рис. 2. Схема закругления торцовых поверхностей зубьев конусными пальцевыми фрезами: а - движения при обработке; б – положение инструмента относительно заготовки

Однако торцы зубьев с конусным закруглением, ввиду линейного контакта по торцам при переключении скоростей, создает дополнительное сопротивление продольному перемещению зубчатых колес.

Закругленные бочкообразные торцы зубьев (рис.1, б) обеспечивают точечный контакт по торцам в момент переключения и создают меньшее сопротивление вхождению пары зубьев в зацепление. Но для обработки таких торцев требуется применение специального, инструмента: фасонных пальцевых или чашечных фрез (рис. 3), что также обуславливает трудности при его переточке.



а) б)

Рис. 3. Обработка торцов зубьев с бочкообразным закруглением

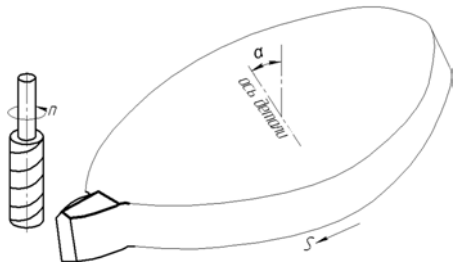


Рис. 4. обработка остроугольных торцов зубьев

Более технологичными являются заостренные торцы зубьев, так как их обработку можно проводить торцовой частью стандартных концевых фрез, при требуемом взаимном расположении инструмента и заготовки (рис. 4). Но такая форма зубьев создает еще большее сопротивление при вхождении зубчатых колес в зацепление, и может быть использована только при не вращающихся зубчатых колесах.

Данный недостаток можно исключить за счет чистовой обработке торцев зубьев гибким кольцеобразным абразивным кругом, прогибающимся в местах впадин зубьев с помощью специальных обкатных роликов (рис. 5, а). Такая обработка позволит выполнить скругление остроугольной перемычки и значительно уменьшить заедание

при переключении скоростей. Устройство для обработки торцев данным способом представлена на рис. 5, б.

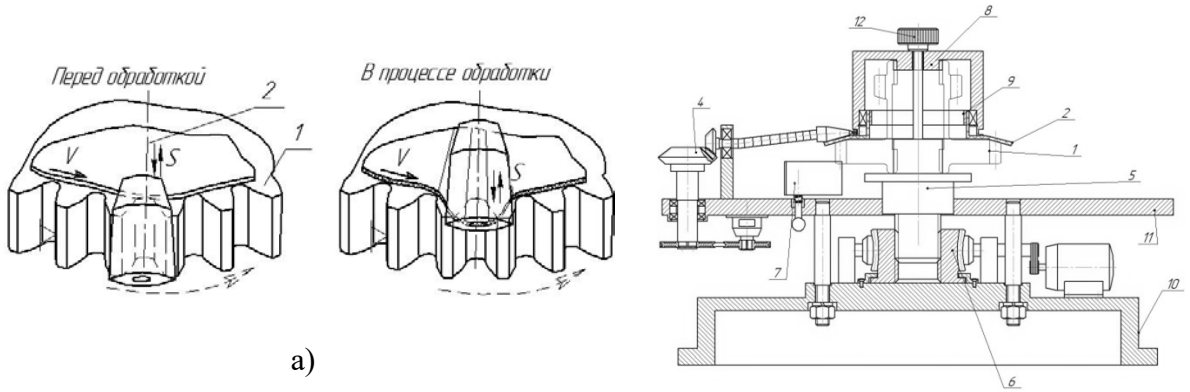


Рис. 5. Скругление остроугольных кромок с помощью гибкого кольцеобразного абразивного круга: а – схема обработки, б – схема устройства для обработки торцов

Устройство состоит из корпуса 10, гибкого кольцевого абразивного круга 2, установленного на подшипники в прижимной крышке 8; обкатных валиков 3; привода вертикального перемещения заготовки 6, оправки 5, привода обкатных валиков 4, подпружиненного упора 7 для базирования заготовки по впадине зубьев и крепежного винта 12. Установка заготовки осуществляется на оправку 4 с совмещением впадины зубьев с упором 7. При включении привода роликов 3, круг 2, соприкасающийся с роликами, начинает вращаться от сил трения роликов об нерабочую сторону круга. Перемещение валиков к центру заготовки, обеспечивает вдавливание ленты во впадины зубьев посредством ее упругой деформации. При этом лента, огибает остроугольные кромки зубьев, выполняя их скругления перемычки и боковых кромок. После обработки кромок первых впадин зубьев, соответствующих положению обкатников, осуществляют поворот заготовки на следующую впадину. Упор устанавливают в следующей впадине зубьев, за счет чего очередные впадины зубьев устанавливаются в позициях, соответствующих обкатникам. Таким образом, поочередно поворачивая колесо на последующие впадины, осуществляется последовательная обработка всех торцов зубьев.

Выводы. Таким образом, в работе предложен способ обработки радиусных кромок зубьев путем последовательного получения остроугольных кромок фрезерованием концевой фрезой, и дальнейшей их обработки гибким абразивным кругом, огибающим впадины кромок зубьев для скругления остроугольных кромок.

Список литературы: 1. Производство зубчатых колес. Справочник. С. Н. Калашников, А. С. Калашников, Г. И. Коган и др. Под. ред. Б. А.Тайца. - Изд. 3-е, перераб. и допол.– М.: Машиностроение, 1990. – 464 с. **2.** Калашников А. С. Технология изготовления зубчатых колес. – М.: Машиностроение, 2004. – 480 с. **3.** Кудрявцев В. Н. Зубчатые передачи. - М.: «Машгиз», 1957. – 263 с.

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ АВТОМАТИЗАЦИИ УЧЕТА ПРОДАЖ ТОРГОВЫХ ЦЕНТРОВ

Лысенкова С. Н., Добровольский Г. И., Волович М. Д.
(*Брянский ГАУ, г. Брянск, Россия)*
Тел./Факс: +7-952-964-00-56; E-mail: lsn.76@mail.ru

Abstract: *In order to improve automation of accounting for shopping centers sales, VBA language for programming is presented. When working with the created VBA codes, there is a big time saving. The time that was spent on unloading and forming can now be used more productively, namely, to find and correct malfunctions in the network and equipment of the enterprise.*

Key words: *automation, programming language VBA, account, macro, code.*

В настоящее время автоматизация на предприятиях пользуется большой популярностью. Автоматизация помогает развитию предприятия, так как заменяет бумажные документы и предоставляет больше возможностей. Благодаря такому развитию, предприятия могут вести электронные базы по необходимым им параметрам.

Для усовершенствования автоматизации можно использовать разные языки для программирования и ПО для автоматизации. В работе был использован язык VBA [1].

При работе созданных VBA кодов происходит большая экономия времени так как эти коды берут данные с C:\7 и подставляют в соответствующие им листы документов MS Excel 2017, после чего в самой программе происходит форматирование текста, установка фильтров, пересчет формул и прочие действия для вывода нужных данных на лист для печати на принтер или передачи файла на компьютер конечному пользователю. В директории C:\7 данные появляются в формате txt после работы ПО Gestori, под управлением программы xStarter.

Для программы xStarter создан отдельный пользователь на сервере «АО Корпорация «ГРИНН» Брянск «Линия3», под управлением Windows 7 Enterprise x64, где открыты несколько окон программы Gestori ПО xStarter начинает свою работу в 01:30 по Москве. Различные настройки графики, отображения, и анимации были отключены для увеличения производительности системы.

В данных окнах xStarter запускает свой код начинающий действия, которые были заданы программе один раз, с помощью функции записи. Данный код открывает несколько учетных записей (а именно в две учетных записи системного администратора и одну учетную запись директора), и начинает задавать условия для запросов в программе Gestori без вмешательства человека. Например ПО xStarter заходит в куб чеков выставляет вчерашнюю дату, значение по магазинам и по часам, после нажимает клавишу F1 и через 8 минут дает имя chek.txt для отчета который делается несколько раз в день, в 08:00 в 12:00, 15:00, 17:00 и 19:00. Последним действием программы xStarter является развёртывание xlsx файла и запуск макроса.

Gпрограмма xStarter заходит в три пользователя в открытых окнах Gestori. Для примера работы будет показана вывод отчёта Анализ продаж. Во всех окнах происходит вход под специальным пользователем для работы автоматизации (Рис. 1).

Вход в три окна служит для того чтобы сократить время подготовки файлов. После входа во все три окна xStarter идет в первом окне по пути Сервис>Сервис (Дополнительные .отчеты)>По почте с касс>Анализ продаж в программе Gestori и переходя клавишей Tab по кнопкам программы устанавливает в графу «подразделение» значение 621, напротив графы товары выставляет по отделам, и устанавливает вчерашнюю дату, затем нажав F1 Gestori начинает сбор данных (рис. 2).

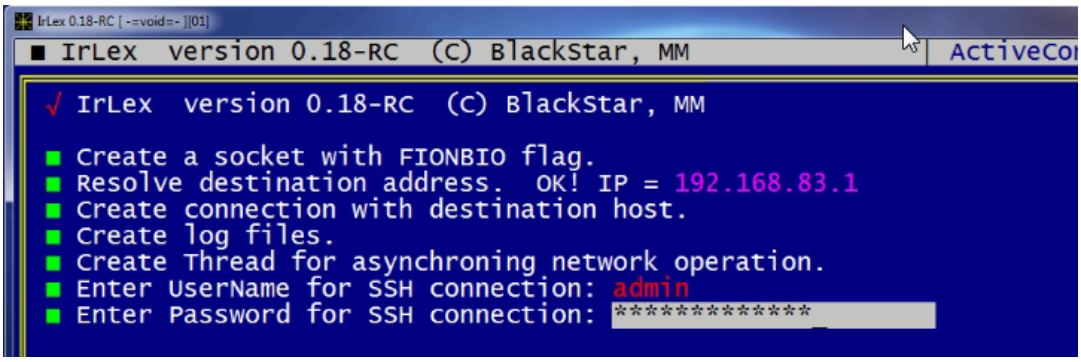


Рис. 1. Окно авторизации пользователя Gestori

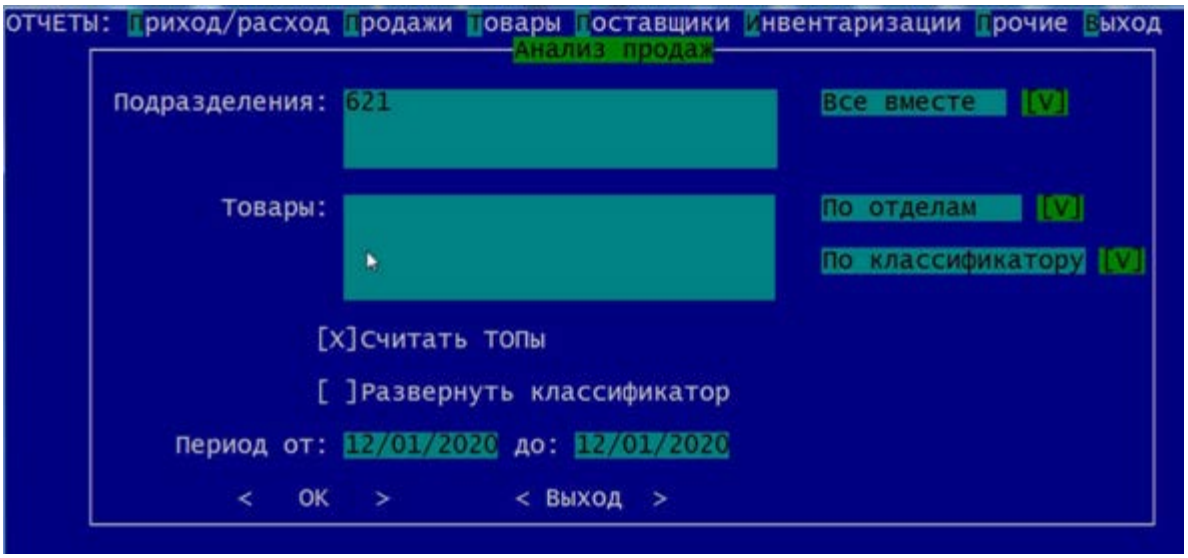


Рис. 2. Запуск сбора данных анализа продаж

ПО xStarter выбирает меню «Вызов WordPad», дает имя 6211.txt и нажимает Enter. После данных действий файл 6211.txt содержащий анализ продаж гипермаркета «Линия3» попадает в директорию C:\7, откуда в последствии из него возьмет данные код автоматизации VBA написанный в MS Excel 2007 [2].

			Дата	Логин	TXT
2	Анализ продаж	Серв.-Доп.отч.-По почте с касс-Анализ продаж-по отделам(621)	*вчера*	vlad_g	6211
3	Продажи по цехам	Серв.-Доп.отч.-По почте с касс-Продажи по цехам(без измен.)	*вчера*	Савкин	rp_ye
4	Продажи по цехам месяч.	Серв.-Доп.отч.-По почте с касс-Продажи по цехам(без измен.)	*нач.мес.-вчера*	Савкин	rp_nakot1
5	Сводный отчет месяч.	Серв.-Доп.отч.-По чекам с касс-Сводный отчет по продажа(все ги	*нач.мес.-вчера*	Савкин	50000
6	Сводный отчет столовая	Серв.-Доп.отч.-По чекам с касс-Сводный отчет по продаж(622)	*вчера*	vlad_g	5011
7	Реестр импортированных накладн.	Серв.-Доп.отч.-Прих/расх-Наклад.-Реестр импорти накладн.	*вчера*	Савкин	reestr
8	Реестр автоматических заказов	Серв.-Доп.отч.-Поставщики-Заказы-Реестр автомат.заказоов.(621) [ ]Только закрытые-[X]Разверн по товар.	*вчера*	vlad_g	avto
9	Куб продаж(2 периода)	Серв.-Доп.отч.-По почте с касс-Куб продаж(2 периода)-по магазинам-50 отд.- по группам	нач.мес.-вчера(пр.год) нач.мес.-вчера(этот год)	Савкин	1718
10	Анализ продаж 621	Серв.-Доп.отч.-По почте с касс-Анализ продаж(621)-по магаз.-по отделам-по отделам -по категориям	нач.мес.-вчера	vlad_g	nakotkat1
11	Анализ продаж по гиперам	Серв.-Доп.отч.-По почте с касс-Анализ продаж-по магаз.-по отделам -по категориям	*вчера*	Савкин	allkat
12	Продажи в минус	Серв.-Доп.отч.-По почте с касс-Продажи в минус(621)	*вчера*	vlad_g	555
13	Лоток	Вкладка Lotok-куб чеков(601060,611060,621060)-изм.сумму пр.год	*вчера+пр.год*	vlad_g	
14	Сводный	Ф7 подстав. данные в соотв число	*пока не печатаем*		
15					
16	Нажать кнопку отчет1,печатать (Ф1-Ф6) и сохранить \\172.20.8.254\pub\ОТЧЁТЫ\Отчёт№1\2018\Июнь\NEW\				
17	Ссылки на раб.столе	Подготовка Номера 1			
18	1.Наценка_NEW(вчера,24 часа) часовой	Дату на Сегодня			Вкладки
19	2.Потери топ(7777777 наш)?	Серв.-Доп.отч.-По почте с касс-Анализ продаж(621)-по магаз.-по отделам	*неделя+пр.год*	vlad_g	lw(нед) и dr(год)
20	3.Отч.(Производство,Листовка)	Серв.-Доп.отч.-По почте с касс-Продажи по цехам(без измен.)	*неделя+пр.год*	Савкин	rp_lw(нед) и rp_dr(год)
21	4.-40%-30%(измен.ракурс+подставить пр.год)	Серв.-Доп.отч.-По почте с касс-Анализ продаж(621)-по магаз.-по отделам-по отделам -по категориям	*пр.год(с нач.мес)*	vlad_g	nakotkat2
22	5.3 товара(измен. ракурс+подставить пр.год)	Серв.-Доп.отч.-По почте с касс-Продажи по цехам(без измен.)	*пр.год(с нач.мес)*	Савкин	rp_nakot2

Рис. 3. Подсказка для выгрузки файлов для отчёта Nom1

Остальные выгрузки делаются по его подобию. Меняется только путь к отчету (соответственно и вид отчета), имя выходящего txt документа, дата, фильтры, расположенные справа и время между нажатием F1 и выбором меню «Вызов WordPad».

Для основного отчёта используется всё файлы, которые предоставлены в подсказке (рис. 3).

После выгрузки файлов запускается макрос в MS Excel который фильтрует и подставляет выгруженные файлы для компоновки в один отчёт. Этот отчёт называется nom1 и является основным отчетом по продажах магазина.

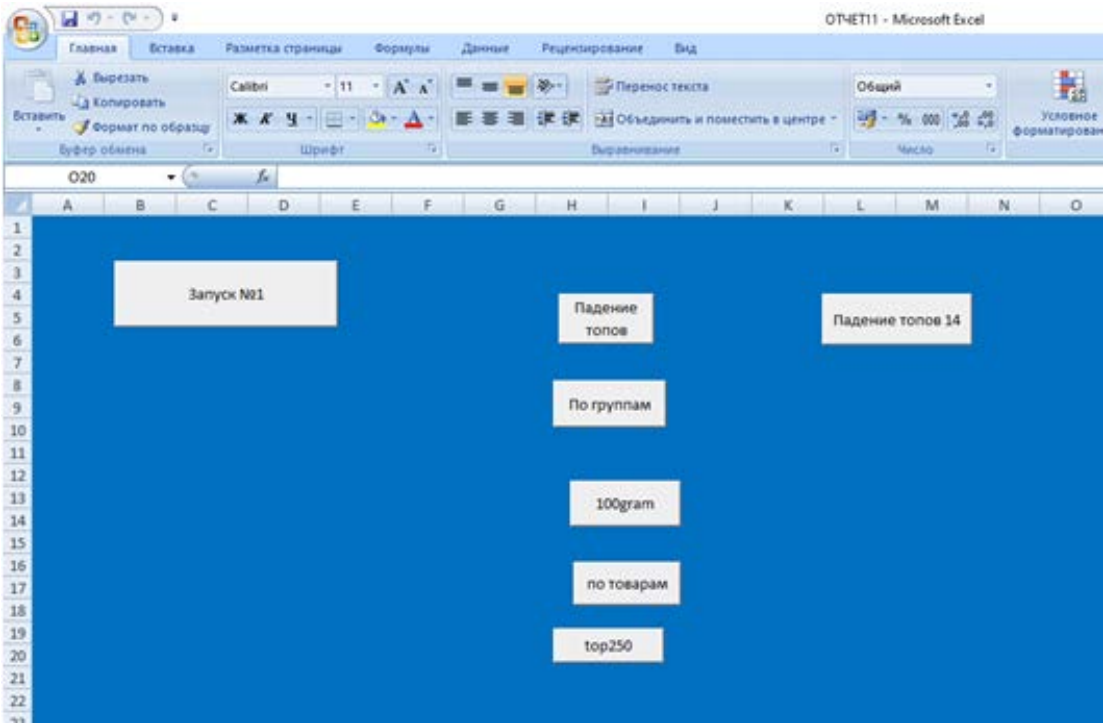


Рис. 4. Макросы в MS Excel

После Xstarter выбирает на кнопку «Запуск №1». Это кнопка запускает работу макроса, он будет открывать выгруженные текстовые файлы в MS Excel и вставлять по нужным вкладкам. После этого сводные таблицы в отчёте производят подсчет всех данных, и выводит готовую информацию на вкладку Ф5.

Благодаря данной автоматизации, и в процессе её появления существенно сокращалось время получения данных отчетов. Если время получения готовых отчетов было приблизительно около четырех часов, то сейчас на это уходит всего несколько минут. Время, которое было затрачено на выгрузку и формирование теперь можно использовать более продуктивно, а именно для нахождения и исправления неисправности в работе сети и оборудования предприятия.

Список литературы: 1. Хазаров В. Г. Интегрированные системы управления технологическими процессами. - Санкт-Петербург, 2013. - 592 с. **2.** Применение VBA и макросов в Microsoft Excel. : Пер. с англ. - М. : Издательский дом «Вильямс», 2006. – 624 с.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЛИЯНИЯ ПРОЦЕССА ГЛУБИННОГО ШЛИФОВАНИЯ НА ПОКАЗАТЕЛИ КАЧЕСТВА ПОВЕРХНОСТИ И ПРЕДЕЛ ВЫНОСЛИВОСТИ ЛОПАТОК ГТД

Макаров В. Ф., Никитин С. П., Песин М. В. *(ПНИПУ, г. Пермь, Россия)*
Тел.+73422198023. E-mail: m.pesin@mail.ru

Abstract: *The methodology for ensuring the operational characteristics of GTE layers and the quality shows of the surface layers for the supporting surfaces during deep grinding on a multi-axis CNC machine is provided. The influence of the parameters of deep grinding on the quality indicators of the machined surface and the endurance limit of GTE blades is indicated. Prediction of the deep grinding process based on thermomechanical models and differentiation of the produced profile on an elementary surface is proposed. By the scientifically based modes of deep grinding is assigned. The endurance limit for GTE blades is provided.*
Key words: *processing technology, deep grinding, multi-axis machining, dynamic machine system, dynamic characteristics.*

При профильном глубинном шлифовании на многоосевых станках с ЧПУ возникают различные условия формообразования отдельных участков сложного профиля опорной поверхности ГТД [1, 2]. При обработке одновременно формируется несколько элементарных поверхностей одним профильным кругом. При этом реализуются различные величины припусков для этих элементарных поверхностей, разные пятна контактов шлифовального круга с обрабатываемой элементарной поверхностью, участвует разное количество зерен в резании и т.д. Результатом является возникновение разных сил резания по элементарных поверхностям, которые приводят к разным упругим и динамическим деформациям; величинам съема; температурам в зонах контакта круга с обрабатываемыми поверхностями. А это, в свою очередь, определяет точность обработки, качество поверхностного слоя и предел выносливости лопаток ГТД. Отсюда возникает задача за счет задания рациональных режимов глубинного шлифования и характеристики круга обеспечить приемлемые значения точности, качества поверхностного слоя каждой элементарной поверхности и заданного предела выносливости лопаток ГТД.

В качестве гипотезы выдвигается возможность обеспечения предела выносливости лопатки и заданных параметров качества поверхностного слоя за счет задания рациональных режимов процесса глубинного шлифования каждой из элементарных поверхностей обрабатываемого опорного профиля лопатки ГТД. Это может быть обеспечено на основе прогнозирования параметров процесса профильного глубинного шлифования каждой элементарной поверхности по математической модели термомеханической системы и выделения критической элементарной поверхности [3].

В понятие термомеханической системы глубинного шлифования включают динамическую систему шлифовального станка, тепловые процессы в зоне обработки. Динамическая система шлифовального станка включает в себя упругую систему шлифовального станка и процесс шлифования. Процессами трения в подвижных соединениях и электромагнитными процессами в приводах пренебрегаем. Упругая система шлифовального станка включает в себя несущую систему станка, приспособление, инструмент и заготовку.

Для прогнозирования параметров процесса профильного глубинного шлифования каждой элементарной поверхности необходимо 5 этапов действий (рис. 1).

Построение термомеханической системы шлифовального станка производится на основе дифференциации исходного обрабатываемого профиля. Обрабатываемый профиль лопатки ГТД состоит из нескольких различных по форме участков профиля, кото-

рые при глубинном профильном шлифовании одним профильным кругом формируются одновременно (рис. 2). Каждый из них имеет свои требования к точности и качеству поверхностного слоя.

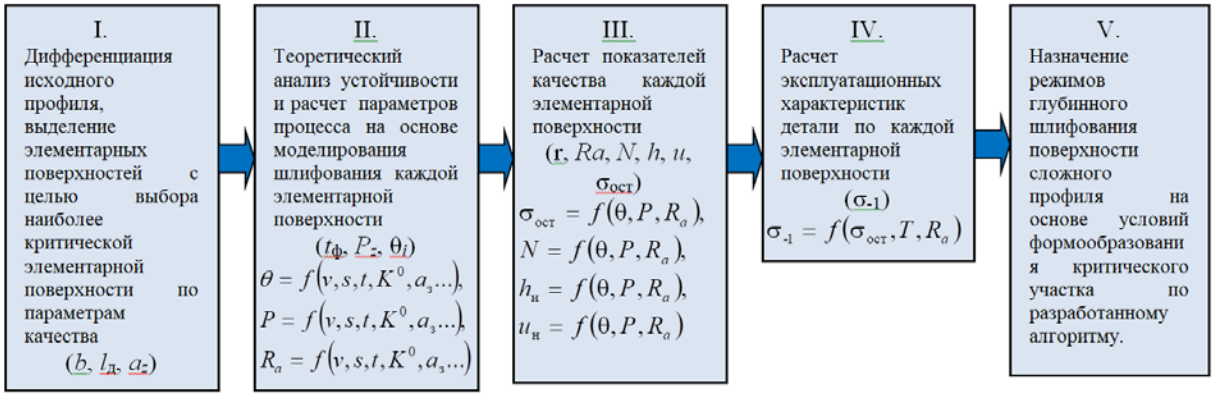


Рис. 1. Основные этапы действий по обеспечению качества поверхностного слоя и эксплуатационных характеристик детали при глубинном шлифовании

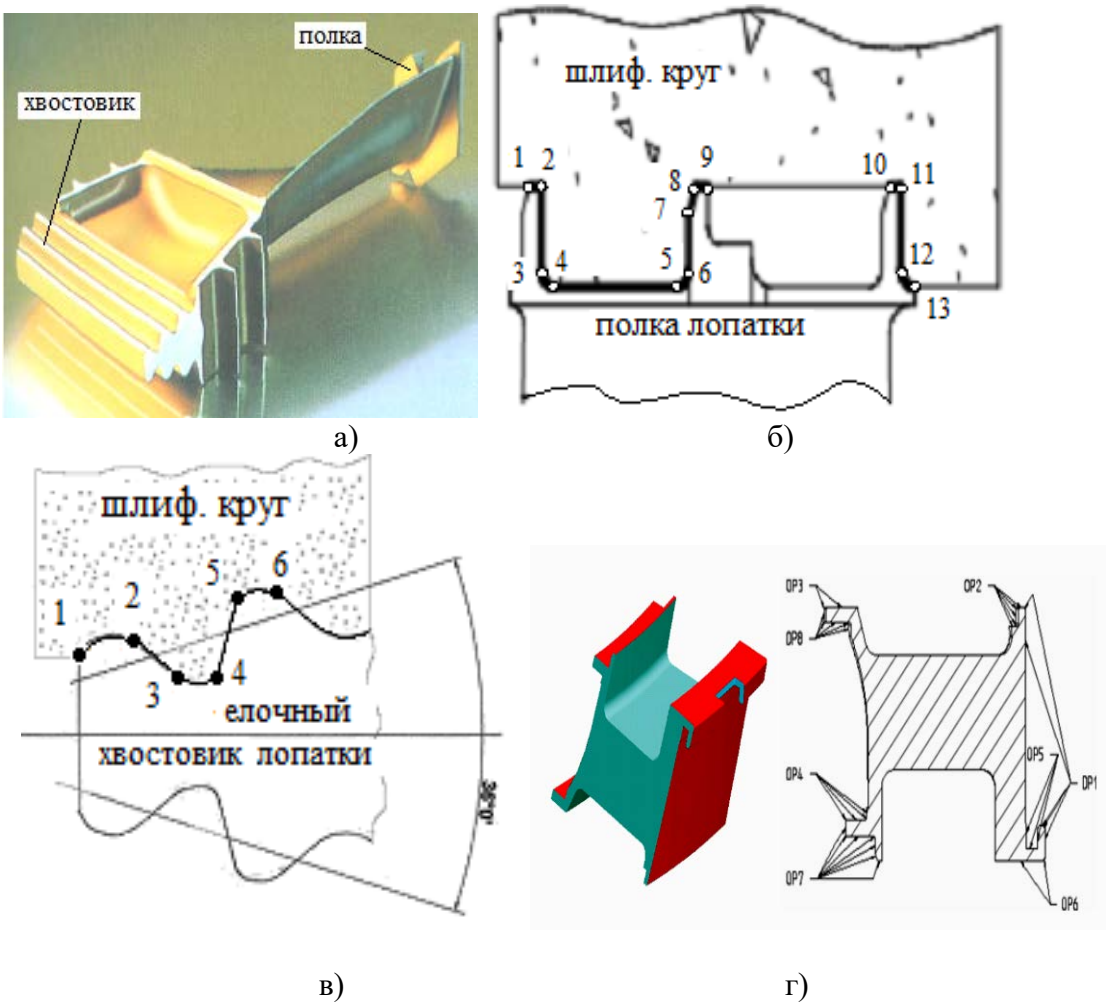


Рис. 2. а) общий вид рабочей лопатки турбины; б) схемы обработки и разбиения профиля на элементарные поверхности полки и в) хвостовика, г) профильные поверхности сопловой лопатки ГТД, формируемые глубинным шлифованием

В рамках дифференциации обрабатываемый профиль и процесс формообразования разбивается на совокупность обработок элементарных поверхностей, отличающихся термомеханическими условиями формообразования и схемами шлифования.

Для дифференциации профиля предлагается использовать движения формообразования. Целесообразно выделить несколько элементарных поверхностей, характерных для опорных поверхностей лопаток ГТД: цилиндрические, плоские, кольцевые поверхности и их комбинации. Каждая элементарная поверхность формируется по своей схеме шлифования и определяется своими образующими и направляющими линиями формообразования.

При дифференциации производится замена реального профиля набором элементарных поверхностей профиля. Это позволяет с достаточной точностью выявить различие термомеханических условий при обработке отдельных элементарных поверхностей на основе математического моделирования процесса профильного глубинного шлифования и назначить обоснованные режимы шлифования сложного профиля лопатки ГТД по критической элементарной поверхности.

При отображении условий формообразования элементарных поверхностей необходимо учесть кинематику данных схем, т.е. изменение пятна контакта шлифовального круга и обрабатываемой поверхности. В данной работе для отображения процессов формообразования каждой элементарной поверхности использованы кинематические модели, представленные Е. П. Калининым, Ю. К. Новоселовым [4,5]. Данные модели определяют размеры пятна контакта шлифовального круга и обрабатываемой элементарной поверхности при разных схемах шлифования.

Дифференциация исходного профиля опорной поверхности лопатки ГТД позволяет разработать математическую модель процесса глубинного шлифования для каждой элементарной поверхности и определить критическую элементарную поверхность, имеющей наихудшие показатели качества, и назначить по ней режимы шлифования для обработки всего профиля. Для разработки математической модели термомеханической системы глубинного шлифования использован метод прямой аналогии, который позволяет одновременно отображать разнородные физические процессы, возникающие в зоне обработки при профильном глубинном шлифовании.

Список литературы: 1. Полетаев В.А., Волков Д.И. Глубинное шлифование лопаток турбин: библиотека технолога. – М.: Машиностроение, 2009. – 272 с. **2**. Макаров В.Ф. Современные методы высокоэффективной абразивной обработки жаропрочных сталей и сплавов: Учебное пособие.- СПб.: Издательство “Лань”, 2013. – 320 с. **3.** Макаров В.Ф. Влияние условий формообразования на качество поверхностного слоя лопатки при глубинном профильном шлифовании. / Макаров В.Ф., Никитин С.П. // Наукоемкие технологии в машиностроении. - 2015. - №8 (50) - С. 38-44. **4.** Новоселов Ю.К. Динамика формообразования поверхностей при абразивной обработке: Изд-во Сарат. ун-та, 1972. – 232 с. **5.** Макаров В.Ф., Никитин С.П. Кинематика формообразования элементарных поверхностей при глубинном профильном шлифовании турбинной лопатки. // Вестник Рыбинского гос. авиац. технологического университета им. П.А. Соловьева. -2017. - №1(40) – С. 173…181.

ПЕРВИЧНАЯ ПОДГОТОВКА И ОЧИСТКА ГАЗА НА ПРИМЕРЕ НИЗКОТЕМПЕРТАУРНОЙ СЕПАРАЦИИ

Малахов Р.В., Степанова Е.А.
(КамчатГТУ, г. Петропавловск-Камчатский, Россия)
Тел. +7(914)6221790; E-mail: len_sta@rambler.ru; malakhov.r.99@gmail.com

Abstract: *Natural gas is widely used as an inexpensive fuel with a high calorific value (when burning 1 m^3 of gas, energy is released up to 54,400 kJ). This is one of the best types of fuel for domestic and industrial needs. The most common and convenient way to deliver gas to the consumer is by pipeline.*
Key words: *crude gas, hydrocarbons, low-temperature separation, gas condensate, hydrate inhibitor, separator, heat exchanger, choke, dry gas*

Природный газ, получаемый с промыслов, содержит посторонние примеси: твердые частицы, конденсат тяжелых углеводородов, водяные пары и часто сероводород, и углекислый газ. Газ не подают в трубопровод «как есть», перед запуском его надо подготовить, его необходимо осушить и очистить от вредных примесей, чтобы он соответствовал ряду требований. Наиболее труднодостижимыми из этих требований являются температура точки росы по воде и температура точки росы по углеводородам. Для подготовки и очистки газа существуют следующие основные методы: метод низкотемпературной сепарации (НТС), метод низкотемпературной конденсации (НТК), метод абсорбционной подготовки газа, метод адсорбционной подготовки газа.

Метод низкотемпературной сепарации (НТС) включает в себя ступенчатую сепарацию, охлаждение газового потока между ступенями сепарации, введение ингибитора гидратообразования, выведение из сепараторов жидкой фазы и направление водной фазы последней ступени сепарации в поток газа. В основе этого метода лежат процессы однократной конденсации при температурах от -10 до -25°C и газогидромеханического разделения равновесных жидкой и газовой фаз. Особенность добычи природного газа заключается в высоком давлении внутри пласта на первых этапах разработки месторождения. Газ выходит из скважины со значительным давлением, около 100-150 атм. и выше, которое можно легко преобразовать в дешевый холод при дросселировании потока. Поэтому логично, что самый легкий и распространенный вариант обработки газа при таких условиях - это низкотемпературная сепарация газа (НТС), где используется минимум капитальных вложений при удовлетворяющих показателях на выходе. Также, большим плюсом этого метода является простота эксплуатации и обслуживания оборудования. Как правило, основная технология включает в себя несколько сосудов под давлением (сепараторы), несколько теплообменников и дроссель (или турбодетандер).

Сырой газ со скважин поступает на первую ступень сепарации, входной сепаратор, где от газа отделяется пластовая вода с растворенными ингибиторами и сконденсировавшийся углеводородный конденсат. Отсепарированный газ направляется в первый рекуперативный теплообменник для рекуперации холода с дросселированного потока газа и конденсата. Для избежания образования гидратов в поток газа перед теплообменником впрыскивают ингибитор гидратообразования (этанол, ацетон, метанол, различные гликоли, например, монодиэтиленгликоль). При наличии избыточного давления газа, охлажденный газ из теплообменников поступает на дроссель (или детандер), где за счет дросселирования (или детандирования) падает температура потока. При отсутствии давления газ направляют в испаритель холодильного цикла, с внешним охлаждением. После

охлаждения газ следует в низкотемпературный сепаратор, где от потока газа отделяются сконденсировавшиеся жидкие углеводороды и водный раствор ингибитора гидратообразования. Сухой газ из низкотемпературного сепаратора возвращается в первый рекуперативный теплообменник, где нагревается, и далее поступает во второй рекуперативный теплообменник, где нагревает отходящую жидкую фазу из НТС и только потом подается в магистральный газопровод. Жидкая фаза из низкотемпературного сепаратора нагревается во втором рекуперативном теплообменнике и далее поступает в трехфазный сепаратор, откуда газ выветривания отправляется либо на факел, либо используется для собственных нужд. Водный раствор ингибитора, выводимый снизу трехфазного сепаратора, направляется на регенерацию, а конденсат – на установку стабилизации конденсата (УСК) (рис.2) для последующей стабилизации.

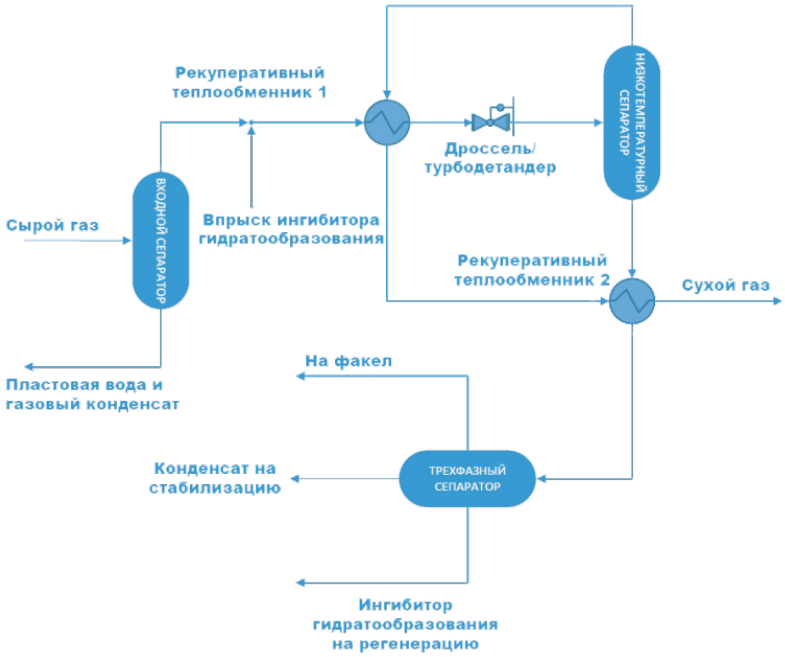


Рис. 1. Общая схема установки низкотемпературной сепарации газа

Рис. 2 Установка стабилизации конденсата

Установки НТС могут найти оправданное применение на небольших месторождениях с коротким сроком разработки, когда более сложные установки не успевают окупиться, а также как метод первичной обработки при подаче газа на переработку на отдаленный НПЗ. Выделим базовые плюсы НТС:

– малые капитальные вложения и эксплуатационные затраты при наличии свободного перепада давления

– одновременную осушку газа до точки росы, достаточных для дальнейшего транспорта газа

– простота в обслуживании и эксплуатации

– легкость регулирования технологического процесса и его автоматизации в условиях промысла

Примерно через 3-4 года после начала разработки месторождения, давление добываемого газа начинает постепенно падать, из-за чего НТС теряет свое основное преимущество – дешевый холод. Соответственно, такой способ обработки газа перед его транспортировкой не позволяет стабильно достигать требований по подаче газа в магистральный газопровод, что делает его не только низкоэффективным, но и зачастую вовсе бесполезным. Из минусов НТС стоит отметить также низкое извлечение конденсата – извлекается только конденсат, находящейся в жидкой фазе. Большая же часть тяжелых углеводородов остается в газе, из-за чего не достигается требуемая температура точки росы по углеводородам. Это приводит не только к проблемам при эксплуатации трубопроводов, но и к уменьшению прибыли для эксплуатирующей организации.

Также, стабилизация конденсата методом выветривания предполагает большие потери, связанные с уносом «ценных» компонентов. Подготовка конденсата в колонне-стабилизаторе позволяет в разы сократить расход газа, сжигаемого на факеле, и увеличить количество конденсата. Выделим базовые минусы НТС:

– низкие степени извлечения газового конденсата, особенно для тощих газов

– высокие потери целевых компонентов с товарным газом

– необходимость реконструкции на период исчерпания свободного перепада давления

– применение ингибитора гидратообразования

Универсальность и высокая эффективность низкотемпературной сепарации газа в сочетании с практически бесплатным холодом, получаемым на промыслах в результате использования энергии, заключенной в самих газовых потоках высокого давления, делает этот процесс незаменимым почти на всех газодобывающих промыслах, где требуется осушить и обезжирить газ.

Список литературы: 1. Зиберт Г.К., Седых А.Д., Кащицкий Ю.А., Михайлов Н.В., Демин В.М. Подготовка и переработка углеводородных газов и конденсата. Технологии и оборудование: Справочное пособ. – М.: ОАО «Недра-Бизнесцентр», 2001. – 316 с. **2.** Балыбердина И.Т. Физические методы переработки и использования газа: Учебник для вузов. – М.: Недра, 1988. – 248 с. **3.** Кулиев А.М., Алекрепов Г.З., Тагиев В.Г. Технология и моделирование процессов подготовки природного газа. М.: «Недра», 1978, 232 с. **4.** Низкотемпературная сепарация [Электронный ресурс]. – URL: http://mirslovarei.com/content_geoenc/nizkotemperaturnaja-separacija-58328.html (дата обращения: 05.05.2020). **5.** Корчажкин М.Т., Технологическая схема сепарации высоконапорного конденсатного газа, в кн.: Добыча газа М., 1961. **6.** Базлов М.Н., Жуков А.И., Алексеев Т.С., Подготовка природного газа и конденсата к транспорту, М., 1968. **7.** Подготовка природного газа к транспортировке в трубопроводе [Электронный ресурс]. – URL: http://gazsurf.com/en/component/zoo/item/metody-podgotovki-prirodnogo-gaza-k-transportirovke-v-truboprovode (дата обращения: 05.05.2020).

АНАЛИЗ И КЛАССИФИКАЦИЯ ПОВРЕЖДЕНИЙ КОНТЕЙНЕРОВ ДЛЯ ТРАНСПОРТИРОВКИ И ХРАНЕНИЯ ГРУЗОВ

Мельникова Е.П., Калинин А.В. *(ДонНТУ, г. Донецк, ДНР)*
Тел./Факс: +38 (062) 3050104; E-mail: tm@mech.dgtu.donetsk.ua

Abstract: *The article describes the features and results of the analysis of damage to universal containers during their life cycle. The main types of damages and knots on which they are concentrated are defined. The classification of damage occurring in the structures of containers at all stages of their life cycle, which allows to predict damage in operation and systematize the probabilistic causes of their occurrence.*
Key words: *container, life cycle, damage, production, operation, construction*

Согласно прогнозам специалистов транспортной отрасли объёмов грузовых перевозок, будут постепенно расти. Это связано и с увеличением транзитных перевозок, и с повышением объёмов транспортной работы в различных отраслей экономики. В транспортной сфере наблюдается постоянный рост объёмов перевозок, значительно возросла потребность в таре, которая сможет обеспечить повышенную надёжность, производительность и снижении себестоимости перевозок.

На сегодняшний день самым массовым и востребованным способом транспортировки и хранения грузов является использование универсальных контейнеров. В условиях эксплуатации (отсутствие защиты от атмосферных осадков, специфика погрузочно-разгрузочных работ, постоянная смена вида транспорта, географии перевозок и т. п.) контейнеры подвергаются значительным повреждениям [1-6]. Например, усталостные трещины в сварных соединениях элементов кузова возникают уже через 2-3 года эксплуатации. В связи с этим, создание новых контейнеров и (или) модернизация существующих, является важной и актуальной задачей. Реализация этого направления требует проведения комплексных работ по исследованию эксплуатационных, ремонтных и других повреждений, возникающих за время жизненного цикла контейнеров (рис.1).

Рис. 1. Жизненный цикл контейнера

Изложения основного материала.

Линейный ряд базовых конструкций контейнеров насчитывает более 20 моделей, но все они обладают рядом недостатков [1-6]. Это подтверждается тем, что контейнеры в отдельных местах получают значительные повреждения в эксплуатации, в частности трещины по сварным швам угловых фитингов, в местах соединения подкладки и нижней обвязки, а также трещины в боковых стенках в нижней зоне. Эти повреждения обусловлены значительными напряжениями, которые возникают во время эксплуатации.

В результате выполненного исследования установлено, что основная часть неисправностей возникает в кузове и элементах системы крепления кузова с несущей конструкцией рамы (Рис.2).

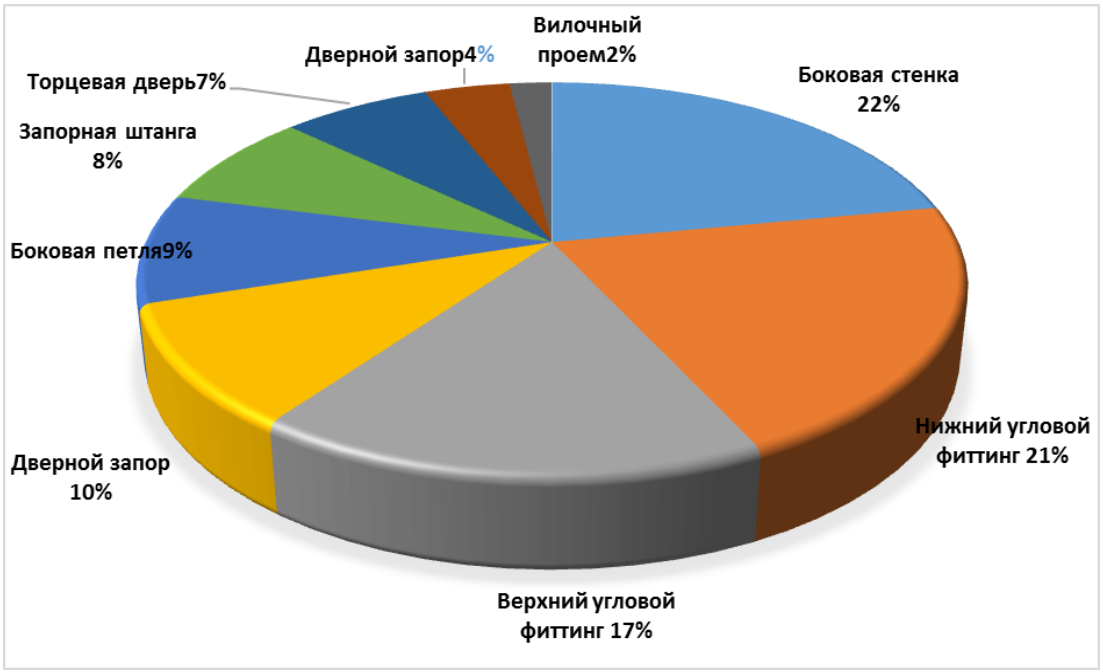


Рис. 2. Анализ дефектов и неисправностей элементов конструкции контейнера

Исходя из полученных данных, можно сделать вывод, что наиболее изнашиваемыми элементами являются: деформация боковых стенок, нижний и верхний угловые фитинги, деформации элементов кузова (изгибы, вмятины, разрывы и тому подобное). Причинами возникновения таких неисправностей является механическое воздействие применяемых погрузочно-разгрузочных механизмов. Трещины, пробоины, изломы являются следствием нарушения действующих правил эксплуатации во время транспортировки и складирования. Самыми повреждаемыми элементами кузова является обшивка боковой стенки.

На основании анализа повреждений и зон их локализации сформировали основные функциональные блоки: 1) этапы жизненного цикла; 2) причины возникновения повреждений; 3) повреждения (рис. 3).

В результате проведённого комплекса работ установлено, что основная часть повреждений и дефектов возникает в результате сочетания не менее двух групп причин на всех этапах жизненного цикла. Основная доля повреждений приходится на этап эксплуатации, причём, самые значительные из них - коррозионные. Кроме этого наблюдаются значительные повреждения основного металла кузова в районе боковых стенок кузова по сварным швам. На основе представленной информации предложены технические решения, внедрение которых на предприятиях ДНР позволит достичь существенного экономического эффекта.

Рис. 3. Структурная схема повреждений и зон их локализации

Выводы:

Разработанная классификация повреждений и анализ дефектов, возникающих в конструкциях контейнеров, на всех этапах их жизненного цикла, позволит прогнозировать повреждения в эксплуатации и систематизировать вероятностные причины их возникновения. Полученные результаты целесообразно использовать для совершенствования конструкции контейнеров с целью улучшения показателей их надёжности.

Список литературы: **1.** Гаранин, С. Н. Мультимодальные перевозки : учебное пособие / С. Н. Гаранин. - Москва : Московская государственная академия водного транспорта, 2018. - 108 с. **2.** Савич, Е. Л. Устройство и эксплуатация автомобилей для международных перевозок : учебное пособие / Е. Л. Савич, В. П. Ложечник, А. С. Гурский ; под редакцией Е. Л. Савич. - Минск : Республиканский институт профессионального образования (РИПО), 2016. - 412 с. **3.** Волков, Г. М. Машиностроительные материалы нового поколения : учеб. пособие для вузов / Г.М. Волков - М. : Инфра-М, 2018. - 317 с. : ил. - (Высшее образование. Бакалавриат). - Библиогр.: с. 308. **4.** Ярушин, С.Г. Технологические процессы в машиностроении : учебник для бакалавров / С. Г. Ярушин. - М. : Издательство Юрайт, 2017. - 564 с. - Серия : Бакалавр. Базовый курс. **5.** Рахимянов, Х. М. Технология сборки и монтажа : учеб. пособие для вузов / Х. М. Рахимянов, Б. А. Красильников, Э. З. Мартынов. - 2-е изд. - М. : Издательство Юрайт, 2017. - 241 с. - Серия : Университеты России. **6.** Государственный стандарт РФ ГОСТ Р 52202-99 «Контейнеры грузовые. Термины и определения» (Принят и введен в действие постановлением Госстандарта РФ от 19 января 2004 г. № 18-ст);

РАЗВИТИЕ ПРОФЕССИОНАЛЬНЫХ КАЧЕСТВ У СТУДЕНТОВ ИНЖЕНЕРНЫХ СПЕЦИАЛЬНОСТЕЙ В ПРОЦЕССЕ ДИВЕРСИФИКАЦИОННОЙ ПОДГОТОВКЕ

Менжулина А.С., Каверина О.Г., Приходченко Е.И. *(ДонНТУ, г.Донецк, ДНР)*
Тел./Факс: +38(071)4589309; E-mail: fox1105@ukr.net, kaf_engl-2017@mail.ru

Abstract: *The article presents an analysis of the professional qualities of future engineers during the process of diversification training in a foreign language. General theoretical aspects and approaches to understanding the content of the training of future engineers for the development of important professional qualities such as mobility, adaptability, quick thinking, self-expression and self-determination in their profession were highlighted.*
Key words: *engineering education, diversification of training types, professionally oriented training, professional qualities, a foreign language communicative activity; diversification.*

Каждое преобразование в инженерном образовании обуславливается изменениями в социальной, экономической и политической сферах. Процесс развития нанотехнологий, освоение космического пространства, расширение международных экономических связей, лежащие в основе новейших научно-технических открытий и изобретений, тем самым привел к возрастанию уровня производственных кооперации, которые изменяют содержание и качество производственных отношений и требуют переосмысленного отношения к профессиональной подготовки специалистов инженерных специальностей. Учитывая все эти факторы в процессе обучения иностранному языку, студент инженерной специальности будет готов к эффективному и кооперативному взаимодействию личности и техники, профессионала и технологии, коммуниканта и мира людей.

Обновление профессиональных качеств любого типа инженера (инженер экономист, инженер геолог, инженер программист, инженер химик и т.д.) - это направление, которое обусловлено современной политикой рыночной экономики и технического бизнеса.

Профессиональные качества инженера - диверсификационны, т.к. инженер нового поколения - это менеджер, строитель, организатор, референт, который ответственен за качество продукции, обеспечивает техническую эксплуатацию, ремонт оборудования и отвечает за развитие специализации на перспективу. Несмотря на диверсификацию обязанностей будущих инженеров и совмещение должностей, существуют общие требования к навыкам, знаниям и умениям, а также к личностно-профессиональным качествам будущего специалиста.

Профессиональные качества будущих инженеров в условиях модернизации высшего профессионального образования исследовались такими учеными, как М.В. Вотницева, Н.П. Гончарук, С.А. Морозова, В.А. Мищенко, Т.И. Мясникова, С.В. Нужнова, И.В. Новгородцева, О.А. Абдуллиной, Ю.Н. Емельянова, Н.В. Кузьминой, Е.В. Сидоренко и др.

Стремление к повышению профессиональных качеств студентов инженерной направленности является актуальной задачей высшего профессионального образования. Развивая личность в процессе диверсификационной подготовки по иностранному языку, мы определяем ее мобильность, креативность, быстроту и обдуманность действий, что влечет за собой смягчение и адаптацию процессов, которые протекают в кризисные периоды развития техники и экономики [4].

Целью данной статьи охарактеризовать все возможные качества будущего профессионала в условиях диверсификационной подготовки по иностранному языку.

В процессе обучения иностранному языку следует определить умения будущего специалиста. Так, инженер должен обладать обширными знаниями в сфере технологии и организации производства; обладать аналитическими знаниями; уметь работать с заказчиками и потенциальными покупателями; обладать навыками ведения документов, смет и графиков финансирования; оперативно и быстро решать поточные технические вопросы на объектах; подбирать и руководить своей группой и командой; владеть общим и профессионально-направленным иностранным языком.

Кроме профессиональных качеств каждый специалист должен понимать свои личные качества, т.к. их определение важны в работе в команде. К личностным качествам можно отнести высокие организаторские способности; дисциплинированность; внимательность; личная мобильность; ответственность за дело; самоорганизация; ориентация на эффективный конечный результат; способность к обучению; хорошая память; эрудиция; склонность к точным и гуманитарным наукам; вежливость и т.д. [2]. Все вышеперечисленные личностные и профессиональные качества свидетельствуют о том, что востребованным, мобильным и конкурентноспособным может стать лишь инженер, который способен овладеть профессионально-речевой компетентностью.

И.В. Новгородцева сформировала концепт «профессионально-коммуникативная компетенция». Так, по ее мнению, профессионально-коммуникативная компетентность студентов инженерных специальностей - это качественная характеристика субъекта профессиональной инженерной деятельности, интегрирующая совокупность знаний, умений, навыков и личностных качеств, которые возникают в процессе решения профессиональных задач в процессе профессионально-ориентированной подготовки по иностранному языку [1].

О.А. Абдуллина, Е.В. Сидоренко и Н.В. Кузьмина выделяют следующие коммуникативные качества: умение говорить, слушать, убеждать партнера по общению и профессионально-ориентированному взаимодействию; нести ответственность за результаты профессиональной деятельности; особенности эмоционального отклика на полученную информацию и профессиональной совместной деятельности по коммуникации; усвоение ряда коммуникативных систем и правил; определение профессиональных ролевых функций представителей разных специальностей; умения контролировать себя и свои действия; профессиональное понимание себя в выбранной профессии; анализировать; способность извлекать опыт из практики [3].

Особенностями профессиональных речевых качеств в разрезе диверсификационной подготовки являются: совмещение функций однородных и разнородных полей профессиональной деятельности; потребность постоянно повышать свою квалификацию; способность вхождения в новый коллектив и способность управления профессиональным поведением.

Динамика экономических и социальных изменений и развитие интеграционных процессов обуславливает потребность в способной личности к профессионально-ориентированной иноязычной коммуникации. От инженера требуется способность и готовность эффективно участвовать в межкультурном взаимодействии. Лингводидактическое осмысление вопроса формирования профессиональных качеств студентов инженерного профиля характеризуется своей актуальностью, т.к. связано с необходимостью выявления развивающихся возможностей процесса обучения иностранному языку, инновационному потенциалу учебных предметов в развитии профессиональной мобильности, компетентностей, интеллекта и т.д.

В процессе изучения иностранного языка студентами инженерного профиля активизируются диверсификация действий, например, понимание и восприятие нового, осмысление и воспроизведение изучаемого материала, творческий процесс создания

новой информации. Развивается интеллект, повышается познавательный интерес, формируются качеств студента-инженера к инновационной деятельности.

Для формирования компонентов профессиональных качеств в диверсификационном процессе изучения иностранного языка студентами инженерного профиля ученый Э.Ф. Зеер предлагает следующие виды для развития профессиональных качеств: ситуации стимулирования ценностно-смысловой сферы студентов, актуализации личностного опыта студентов и потребности в самообразовании; ситуации актуализации индивидуального ментального опыта студентов инженерного профиля, способствующие самопознанию, обогащению индивидуальных интеллектуальных стилей, изучению новых подходов с информацией, техник интеллектуальной деятельности [2].

Содержание ситуации должно соответствовать целям профессиональной самореализации, а не только образовательным задачам. «Разрабатывая развивающуюся ситуацию, необходимо учитывать актуальность и типичность выделенных фактов и событий, отбирать следует дилеммы, которые способны решать образовательные и жизненные ситуации; насыщенные разными контекстами; выявления препятствий и требующих диверсификационного арсенала познавательных средств; стимулирующего самостоятельного подбора материала студентами-инженерами; реализацию роли соавторов развивающей ситуации» [3].

Иноязычная коммуникативная деятельность характеризуется мотивированностью, целенаправленностью, ситуативностью и творчеством, поэтому следует рассмотреть вопрос становления технологий формирования профессиональных качеств в процессе диверсификационной подготовки. Н.П. Гончарук, В.П. Гатинская и Е.И. Хромова выделяют следующие виды развивающих ситуаций для формирования профессиональных качеств у студентов-инженеров: «ситуации, направленные на стимулирование ценностно-смысловой сферы студентов-инженеров, актуализации профессионально-личностного опыта и потребности в самообразовании; ситуации актуализации индивидуального ментального опыта, который способствует самопознанию, обогащению индивидуальных интеллектуальных стилей мышления, изучению новых техник работы с информацией и приемов профессионально-интеллектуальной деятельности; ситуации личностного саморазвития и профессионально-ориентированного самоопределения, т.к. становится в новых условиях средством адаптации и приспособления, развития качеств мобильности; ситуации рефлексии, которые направлены на осознание студентами индивидуальных интеллектуальных ресурсов, трудностей и барьеров учебной, познавательной и профессиональной деятельности; ситуации активизации самостоятельности и критического мышления, создающие условия для построения индивидуальных траекторий непрерывного саморазвития» [3].

Перечисленные ситуации включают развивающие и образовательные задачи, которые призваны преодолеть учебно-познавательные, коммуникативные барьеры в процессе диверсификационной подготовки по иностранному языку и развитию интеллектуальной и профессиональной сферы. Развивающие и образовательные задачи являются узловым моментом, т.к. они собирают в единый комплекс программные установки и профессиональные ориентиры обучения иностранному языку.

Технология формирования профессиональных качеств в процессе диверсификационной подготовки по иностранному языку должна также основываться на педагогических принципах:

1. Принцип осознанной перспективы и целеполагания, предполагающий мотивацию студентов инженерного профиля и направленный на осознанное восприятие учебного материала.

2. Принцип интеграции отвечает за становления будущего инженера с широким научным кругозором и высоким уровнем профессиональной мобильности.

3. Принцип интенсификации - это интегрирование многосторонних мер, включающее социальный, психологический, методический и организационный порядок.

4. Принцип проблемности - обеспечивает творческое отношение студентов к учению и к своей профессии, формируя способность у студентов-инженеров открывать новые знания и умения и развивая квазипрофессиональные качества.

5. Принцип индивидуализации дает возможность приспособления содержания обучения и путей его усвоения к индивидуальным потребностям студентов, позволяя вести учет профессиональных и дифференциально-психологических особенностей.

6. Принцип коммуникативного подхода создает условия общения (возникает коммуникативная мотивация, целенаправленность говорения и формирует взаимоотношения).

7. Принцип личностно-деятельного подхода позволяет определить содержание и структуру рабочих программ по дисциплине «Иностранный язык» [4].

Таким образом, данное исследование позволило выявить принципиально важные общие профессиональные и коммуникативные качества в процессе формирования профессионально-коммуникативной компетентности у будущих инженеров. Развитие профессиональных качеств важны в инженерном образовании для успешного осуществления профессиональной деятельности. Следует переосмыслить профессионально-коммуникативные компетентности в процессе обучения иностранному языку студентов, т.к. в процессе учебно-познавательной деятельности мы формируем новое осмысление на существующие вещи в инженерной сфере. Развитие профессиональных качеств представляет собой интегративную характеристику личности профессионала, для которой нужен новый формат представления содержания программы. Целенаправленность процесса формирования профессиональных качеств студентов инженерных специальностей задается задачами и видами профессионально-ориентированной подготовки, обеспечивающая успех выполнения профессиональных задач и функций. Описанный процесс является следствием интегрированных процессов: саморазвития и целостности учебно-познавательных действий.

Список литературы: 1. Гончарук Н.П. Интеллектуальные концепции как основа непрерывного профессионального образования специалистов по направлению подготовки «Химическая технология энергонасыщенных материалов и изделий» / Н.П. Гончарук // Вестник Казанского технологического университета. – 2012. – 38. – С.434-439. **2.** Зеер Э.Ф. Профессиональная мобильность – интегративное качество субъекта инновационной деятельности / Э.Ф. Зеер, С.А. Морозова, Э.Э. Сыманюк // Педагогическое образование в России. – 2011. - № 5. - С.90-97. **3.** Зорина О.С. Формирование коммуникативной компетенции будущих инженеров : дис. …канд.пед.наук : 13.00.08 – теория и методика профессионального образования / О.С. Зорина. – Нижний Новгород, 2016. – 235с. **4.** Попов А.Н. Особенности формирования профессионально-коммуникативной компетентности будущего инженера // Современные проблемы науки и образования. – 2016. – № 6.URL: http://science-education.ru/ru/article/view?id=25837 (дата обращения: 21.05.2020).

ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТИ МАГНИТНОГО КОНТРОЛЯ КРУПНОГАБАРИТНЫХ ИЗДЕЛИЙ

Мирошников В.В., Богданов В.П. (*ГОУ ВПО ЛНР ЛНУ им. В. Даля, г. Луганск, ЛНР*)
Тел. +38(050)5314625; E-mail: prorectormvv@mail.ru

Abstract: *Large-sized ferromagnetic products, being in The earth's magnetic field, are magnetized to a value of 1020 ... 3633 A/m. When a magnetoelastic Converter is installed on the surface of the product, a constant magnetic field of the product and a variable field of excitation of the Converter act simultaneously on the controlled part of the housing to control the amount of mechanical stresses. Due to the DC field, the working point on the magnetization curve is shifted, which reduces the magnetic permeability of the controlled metal and as a consequence, reducing the level of sensitivity of the magnetoelastic transducer. Thus, for St3 and Stal 20, the sensitivity reduction can reach 15-23%, which significantly levels the advantages of magnetoelastic converters and makes monitoring with their help unreliable on large-sized objects.*
Key words: *Converter, magnetic permeability, errors, deformation, hysteresis loop.*

Крупные аварии последних десятилетий, связанные с разрушением ферромагнитных промышленных объектов (в том числе с серьёзными загрязнениями окружающей среды), указывают на то обстоятельство, что вопросам износа корпусов, трещинообразования (в частности, малоцикловой усталости) уделяется недостаточно внимания. Ведущая роль в определении нагрузок отводится простым и надежным приборам контроля, которые обеспечили бы массовые исследования деформации этих объектов в любых, в том числе и недоступных для наблюдателя, местах. Предельные нагрузки могут быть найдены только в условиях натурных испытаний корпуса промышленного объекта. Особое место в контроле прочности конструкций занимают датчики напряженного состояния корпуса, а также системы сбора и обработки информации от этих датчиков. Существующие системы контроля напряжений в корпусе, построенные с использованием тензометрических и пьезометрических преобразователей, не в полной мере отвечают современным требованиям к точности измерений и надежности.

Учитывая условия эксплуатации и необходимость обеспечения высокой чувствительности системы контроля к возникающим механическим напряжениям целесообразно строить такие системы на базе магнитоупругих преобразователей. Данные преобразователи достаточно хорошо себя зарекомендовали при измерении механических нагрузок как контактным, так и бесконтактным способом. Не смотря на высокую чувствительность магнитоупругих преобразователей, она во многом зависит от условий контроля и характеристик объекта контроля, а именно от ферромагнитных свойств корпуса изделия. Проведем анализ магнитных характеристик металла корпуса объекта влияющих на величину магнитоупругого эффекта.

Ферромагнитный материал представляет собой конгломерат кристаллов, ориентированных кристаллическими осями случайно. Магнитные свойства кристаллов ферромагнитного материала в разных направлениях различны [1], т.е. кристаллы магнитно анизотропны и имеют предпочтительные кристаллографические направления, по которым намагничиваются с наименьшей затратой магнитной энергии. При деформации ферромагнитного материала под действием внешнего усилия изменяется ориентация кристаллов и величина необходимой энергии намагничивания. При изменении направления ориентации кристаллов поликристаллического образца изменяются его линейные размеры, т.е. наблюдается явление магнитострикции. При

положительной магнитострикции размеры кристалла растут в направлении внешнего магнитного поля. Под действием растягивающего усилия намагниченность кристалла вдоль направления растяжения в этом случае облегчается. При отрицательной магнитострикции, наоборот, намагниченность ухудшается. Под влиянием упругой деформации изменяется форма кристаллической решётки ферромагнитного материала и ориентация вектора самопроизвольной намагниченности J_s областей в решётке. Устойчивые направления J_s обусловлены [2] энергией магнитной анизотропии кристалла, магнитоупругой и внешнего магнитного поля. Любое искажение кристаллической решётки ферромагнитного тела будет влиять на его намагниченность.

Между изменением размеров ферромагнитного тела в направлении действия внешнего магнитного поля H изменением индукции B под действием внешних механических напряжений σ существует зависимость [1, 3]

$$\frac{J}{l}\frac{dl}{dH} = \frac{1}{4\pi}\frac{dB}{d\sigma}$$

Магнитный поток Ф от внешнего источника поля равен

$$\Phi = BS = 4\pi J_s S$$

где S – поперечное сечение образца

При деформации растяжения ферромагнитного материала во внешнем магнитном поле $H>H_s$ магнитный поток будет изменяться за счёт изменения J_s и сечения S, т.е.

$$d\Phi = 4\pi S dJ_s + 4\pi J_s dS$$

Выражая dS/S через модуль упругости E, механическое напряжение σ и коэффициент поперечного изменения размеров ε, получим

$$\frac{dS}{S} = 2\varepsilon\frac{\sigma}{E} - \varepsilon^2\frac{\sigma^2}{E^2}$$

Пренебрегая значением ε^2 в силу его малого значение, получим

$$d\Phi = 4\pi S(dJ_s + 2J_s\varepsilon\frac{\sigma}{E})$$

Отсюда следует, изменение магнитного потока при деформации ферромагнитного образца зависит от изменения его намагниченности J_s, механических свойств и размеров.

В результате механических напряжений при заданной напряжённости магнитного поля H изменяется величина магнитной индукции B.

Так как $B=\mu H$, где μ - магнитная проницаемость, то под влиянием механических напряжений при неизменном внешнем магнитном поле изменяется магнитная проницаемость ферромагнетика. Относительное изменение μ от механических напряжений определяется выражением [4]

$$\frac{d\mu}{\mu} = \frac{1}{\pi}\mu_н\lambda_0\sigma$$

где $\mu_н$ – начальная магнитная проницаемость;

λ_0 – начальная магнитострикция

Данное выражение показывает, что изменение магнитной проницаемости зависит от механических напряжений $\mu=f(\sigma)$, а чувствительность к упругим напряжениям тем больше, чем больше начальная магнитная проницаемость нагружаемого ферромагнитного материала.

Целью работы является повышение точности и как следствие достоверности результатов контроля величины механических напряжений крупногабаритных объектов, меняющих свое положение в магнитном поле Земли.

Для решения поставленной задачи проводится анализ работы магнитоупругого эффекта и определяется основной параметр, магнитная проницаемость материала, от величины которой зависит чувствительность данного метода. Анализируя поведение ферромагнитного материала в процессе работы магнитоупругого преобразователя, когда контролируемая область металла одновременно находится в постоянном и переменном магнитном поле. Рассматривается процесс перемагничивания металла корпуса объекта контроля, и определяется положение рабочей точки на кривой намагничивания металла, определяющей значение магнитной проницаемости и, следовательно, коэффициента преобразования магнитоупругого датчика.

Контролируемая область корпуса находится под воздействием электромагнитного поля, возбуждаемого одновременно токами нулевой и конечной частоты. Для такого поля в общем случае переменная и постоянная составляющие индукции (напряженности магнитного поля) в любой момент времени могут не совпадать по направлению, и перемагничивание ферромагнетика будет происходить под действием двух полей разных частот, ориентированных под произвольным углом. Если обе составляющие индукции или совпадают по направлению (в один полупериод колебаний), или направлены навстречу друг другу (в другой полупериод), то перемагничивание ферромагнетика принято называть одновременным перемагничиванием в постоянном и переменном продольных электромагнитных полях. Когда поля разных частот имеют взаимно ортогональное направление, перемагничивание ферромагнетика называют одновременным намагничиванием взаимно ортогональными постоянным и переменным электромагнитными полями.

Как следует из основных термодинамических соотношений при наличии переменных и постоянных составляющих электромагнитного поля в выражение для характеристики внутренней энергии ферромагнитной области кроме величины истинной обратимой работы перемагничивания входят диссипативные составляющие, наличие которых обусловлено явлением гистерезиса и макроскопическими вихревыми токами. Диссипативные составляющие, в свою очередь, влияют на распределение теплового поля внутри ферромагнетика. Таким образом, при строгом рассмотрении функций состояния ферромагнитной среды, находящейся под воздействием комбинированного электромагнитного поля, необходим учет всего комплекса перечисленных факторов.

При проектировании электротехнических устройств, проявление диссипативных эффектов, по возможности, стараются свести к минимуму путем подбора ферромагнитного материала, выбора оптимальной толщины пластин и частоты переменной составляющей поля. При контроле корпуса судна мы не имеем такой возможности, поэтому в первом приближении можно принять, что магнитные характеристики одновременного перемагничивания ферромагнетика в продольном электромагнитном поле двух частот выражают обратимую работу перемагничивания. Тогда состояние ферромагнитной среды при условии постоянства температуры в каждой её точке в каждый момент времени определяет результирующая величина индукции или напряженности магнитного поля, связанных нелинейной зависимостью $B=f(H)$. Для расчета достаточно знать явный вид этой зависимости и значение B или H в каждый момент времени. Подобный подход широко используется при анализе процессов, например, в магнитных усилителях, когда связь $B=f(H)$ представляют в виде некоторой математической функции, а индукцию пли напряженность магнитного поля - в виде суммы постоянной и переменной составляющих [5]. Будем рассматривать магнитоупругий преобразователь как систему двух намагничивающих устройств имеющих магнитопровод и намагничивающие обмотки питающиеся от постоянного и переменного тока.

Для расчета и анализа электромагнитных устройств, ферромагнитные области которых находятся под воздействием постоянного и переменного полей, более удобны характеристики, представляющие взаимосвязь между отдельными составляющими переменных магнитного поля B и H. Воспользуемся семейством кривых одновременного намагничивания в виде зависимости переменной составляющей индукции $B_{\sim}$ от переменной составляющей напряженности магнитного поля $H_{\sim}$ при различных фиксированных значениях постоянной составляющей напряженности магнитного поля $H_{=}$, т. е. зависимости $B_{\sim}=f(H_{\sim}, H_{=})$. Такого рода зависимости, по сути дела, являются вольт-амперными характеристиками, определяющими величину падения переменного напряжения на катушке с ферромагнитным сердечником $u_{\sim к}$ как элементе электрической цепи в функции от величины полного переменного тока той же катушки $i_{\sim}w_{\sim}$ и полного постоянного тока подмагничивающих катушек $i_{=}w_{=}$, т. е. $u_{\sim к}=f(i_{\sim}w_{\sim}, i_{=}w_{=})$. Переход от характеристик $u_{\sim к}=f(i_{\sim}w_{\sim}, i_{=}w_{=})$ к зависимостям $B_{\sim}=f(H_{\sim}, H_{=})$ осуществляется следующим образом. Как известно, величина падения переменного напряжения на одном витке связана с величиной нормальной составляющей индукции B_n по поперечному сечению магнитопровода s, которое данный виток охватывает, следующим соотношением:

$$u_{\sim} = -\frac{d}{dt}\int_s B_n ds \tag{1}$$

В таком случае величина $u_{\sim}$ может быть однозначно определена через среднее по поперечному сечению s значение индукции $B_{\text{пср}}$. При этом нет необходимости в построении истинной картины распределения индукции по сечению s, выявить которое экспериментальным путем практически невозможно. Поэтому равенство (1) используют в виде

$$u_{\sim} = -\frac{dB_{\text{n ср}}}{dt}\int_s ds = -\frac{d(B_{\text{n ср}}S)}{dt} \tag{2}$$

Для перехода от $u_{\sim}$ к $B_{\text{пср}}$ из (2) получаем соотношение

$$B_{\text{n ср}} = -\frac{1}{S}\int u_{\sim} dt \tag{3}$$

Если катушка содержит $w_{\sim}$ витков, а потоки рассеяния пренебрежимо малы, связь между $B_{\text{пср}}$ и $u_{\sim к}$ имеет вид

$$B_{\text{n ср}} = -\frac{1}{w_{\sim}S}\int u_{\sim к} dt \tag{4}$$

Переход от токов намагничивающих катушек к напряженности магнитного поля осуществляется по закону полного тока. При этом с некоторым приближением определяется средняя длина магнитной силовой линии $l_{\text{ср}}$, а напряженности магнитного поля вычисляются по формулам

$$H_{\sim} = \frac{i_{\sim}w_{\sim}}{l_{ср}}, H_{=} = \frac{i_{=}w_{=}}{l_{ср}} \tag{5}$$

Переход от $u_{\sim к}$, $i_{\sim}$ и $u_{=}$ к $B_{\text{пср}}$., $H_{\sim}$ и $H_{=}$, естественно, зависит от закономерностей изменения величин $u_{\sim к}$ и $i_{\sim}$ во времени. В общем случае эти закономерности определяются параметрами электрической цепи, в которую включена намагничивающая катушка переменного тока, а поскольку в реальных устройствах такие параметры изменяются в широких пределах, формы кривых $u_{\sim к}$ и $i_{\sim}$ могут быть оценены приближенно только на основании интуиции и практического опыта. Поэтому характеристики одновремённого намагничивания экспериментально определяются в двух крайних режимах: при синусоидальной форме переменной

составляющей индукции или при синусоидальной форме переменной составляющей напряженности магнитного поля. В первом случае из-за нелинейности процесса намагничивания искажается форма переменной составляющей напряженности магнитного поля, во втором – форма переменной составляющей индукции. Для характеристики численных значений переменных составляющих с искаженной формой кривой используются амплитудные, эффективные и средние (за полупериод) величины. Для характеристики численных значений синусоидально изменяющихся переменных используем амплитудные значения колебаний.

В технической литературе представлен большой набор полученных экспериментально кривых одновременного намагничивания в постоянном и переменном продольных электромагнитных полях для различных ферромагнитных материалов, видов магнитопровода, параметров энергии источников намагничивания и т. д. [6-8]. Проанализируем такие характеристики с точки зрения возможности их обобщения и выявления общих закономерностей процесса одновременного намагничивания продольными постоянным и переменным электромагнитными полями.

Выясним, прежде всего, качественные особенности такого перемагничивания. Для упрощения будем считать, что переменные составляющие процесса изменяются с частотами, при которых можно пренебречь диссипативными составляющими, обусловленными вихревыми токами.

Выберем произвольно синусоидальное колебание переменной составляющей индукции с неизменной амплитудой B_m и проследим за траекторией точки, изображающей изменение магнитного состояния в координатах B и H при различных величинах постоянной составляющей индукции B_o.

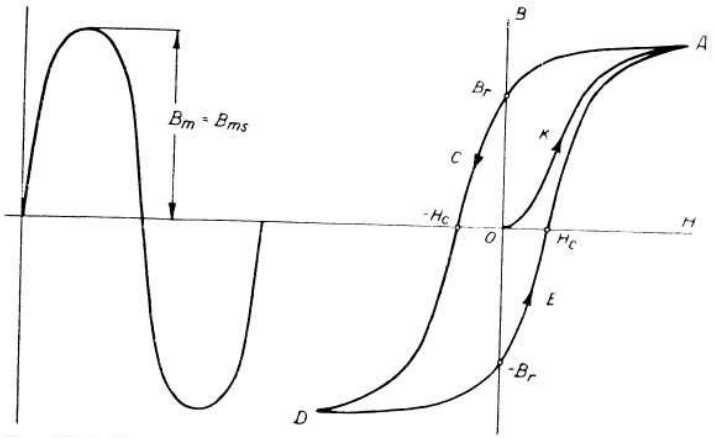


Рис. 1. Перемагничивание ферромагнетика по предельной петле гистерезиса

Для каждого ферромагнитного материала существует максимальная величина амплитуды $(B_m = B_mS)$, определяющая при отсутствии постоянной составляющей индукции, так называемую предельную петлю гистерезиса (рис. 1).

Если начать рассмотрение с момента времени, когда мгновенное значение колебания переменной составляющей индукции равно нулю, а контролируемый материал полностью размагничен, то траектория изображающей точки будет проходить вначале по первоначальной кривой намагничивания *OKA* до точки *A*, а затем совпадет с предельной петлёй гистерезиса *ACDEA* (без учета эффекта релаксации). По предельной гистерезисной петле определяются характерные для каждого ферромагнетика величина остаточной индукции B_r и коэрцитивной силы H_c.

Если $B_{o1}=0$ и амплитуды колебаний переменной составляющей индукции $B_m<B_{ms}$, то при тех же начальных условиях изображающая точка также вначале идет по первоначальной кривой намагничивания (рис. 2, участок K'_1K_1), а затем описывает замкнутый частный цикл (петля $k_1m_1b_1n_1k_1$). Частный цикл подобного рода симметричен относительно осей B и H и находится внутри предельной петли

гистерезиса. Переменной составляющей индукции $\Delta B = 2B_m$ соответствует строго определенная величина переменной составляющей напряженности магнитного поля ΔH_1 и, следовательно, величина переменной составляющей тока в намагничивающей обмотке.

Рассмотрим случай, когда магнитопровод предварительно намагничивается постоянной составляющей индукции до насыщения, т.е. $B_0 \geq B_{ms}$. При уменьшении величины этой индукции траектория изображающей точки будет проходить по участку размагничивания предельной петли гистерезиса ACD. Пусть, как и ранее, величина постоянной составляющей индукции равна B_0. Тогда магнитное состояние магнитопровода определится точкой C`$_3$. При изменении переменной составляющей индукции в первый полупериод изображающая точка опишет предварительную частную петлю c`$_3$n`r$_3$m$_3$c`$_3$, затем в следующей четверти периода, когда величина индукции меняется от B_{0_3} до B_{0_3}-B_m, пройдет по участку обратной ветви предельной петли гистерезиса (участок C`$_3$C$_3$), а далее начнет перемещаться по устойчивому несимметричному частному циклу c$_3$n$_3$r$_3$m$_3$c$_3$. Подобная картина наблюдается и при других величинах постоянной составляющей индукции (циклы при $B_0 = B_{0_2}$ и $B_0 = B_{0_1} = 0$ на рис. 2).

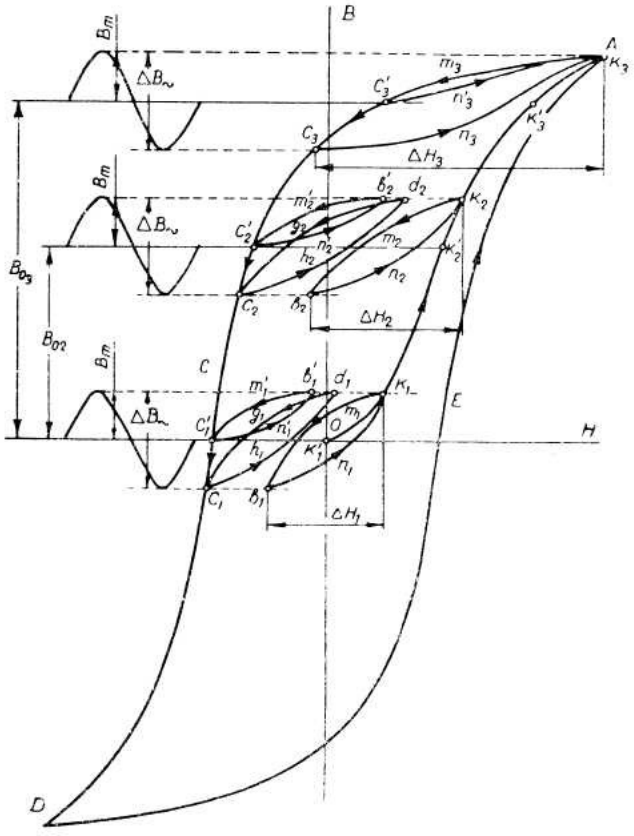


Рис. 2. Гистерезисные циклы при одновременном намагничивании переменным и постоянным магнитными полями

В общем случае в зависимости от амплитуды переменной составляющей индукции B_m, величины и предыстории получения постоянной составляющей индукции B_0 возможны самые разнообразные виды частных циклов. Отметим, что при одновременном продольном намагничивании ферромагнетика постоянным и переменным электромагнитными полями связь между $B_\sim$ и $H_\sim$ весьма сложна. Из этого следует, что описанные переходы от $u_{\sim к}$, $i_\sim$ и $I = к\ B_{n\,ср}$, $H_\sim$ и $H_=$ (4) и (5) носят приближенный характер. Действительно, для рассмотренных режимов перемагничивания четкой является лишь связь амплитуды переменной составляющей индукции B с действующим значением напряжения $u_{\sim к\ эфф}$:

$$B_m = \frac{\sqrt{2}u_{\sim к\ эфф}}{\omega \omega_\sim s}, \qquad (6)$$

где ω – угловая частота.

Величина $H_=$ и форма кривой $H_\sim$ при заданной величине B_0 могут быть точно определены, если известная траектория частного цикла перемагничивания. Из рис. 2

видно, что при одних и тех же величинах B_m и B_0 можно получить различные формы кривой $H_{\sim}$ (при разных формах траектории частных циклов перемагничивания для двух крайних начальных условий) и различные величины постоянной составляющей напряженности магнитного поля $H_{=}$. это еще раз подтверждает, что экспериментально полученные кривые одновременного намагничивания в постоянном и переменном продольных электромагнитных полях в большей степени характеризуют изменение электрических параметров цепей электромагнитного устройства, чем изменение магнитного состояния магнитопровода.

Выводы.

1. Учитывая характер и условия эксплуатации, а также то, что корпус выполнен из ферромагнитного материала наиболее информативным параметром контроля механических напряжений корпуса является магнитоупругий эффект, регистрация которого может осуществляться как контактным, так и бесконтактным методом.

2. Разработанные теоретические основы магнитоупругого метода контроля позволили получить статистическую зависимость магнитных свойств ферромагнетика от действующих усилий и установить, что магнитная проницаемость контролируемого материала является основным магнитным параметром определяющим чувствительность преобразователя.

3. При работе магнитоупругого преобразователя одновременно в постоянном и переменном магнитном поле происходит снижение чувствительности преобразователя за счет уменьшения магнитной проницаемости контролируемого материала т.к. рабочая точка на кривой намагниченности ферромагнистики под действием постоянного магнитного поля смещается к области магнитного насыщения. Причем это величина носит случайный характер в зависимости от местоположения судна относительно силовых линий магнитного поля Земли.

4. Для поддержания постоянной чувствительности магнитоупругого преобразователя необходимо создавать дополнительное постоянное магнитное поле, величина которого будет равна значению намагниченности контролируемого участки корпуса, но противоположна по знаку. Для создания данного поля на магнитной системе магнитоупругого преобразователя необходимо разместить дополнительную обмотку подмагничивания, величина тока в которой определяется с помощью магнитоизмерительной системы позволяющей контролировать остаточную намагниченность участка корпуса судна в месте расположения магнитоупорного преобразователя.

Список литературы: 1. Аркадьев В.Н. Электромагнитные процессы в металлах. – М.: Госэнергоиздат, 1936. **2.** Механцев Ю.Я. Измерения напряжений по магнитной анизотропии. – М.: ГОСИНТИ, 1964. **3.** Шевченко Г.И. Магнитоанизотропные датчики. – М.: Энергия, 1967. – 365 с. **4.** Новиков В.Ф., Фатеев И.Г. Магнитоупругие свойства пластически деформированных и сложнонапряжённых магнетиков. – М.: Недра, 1997. – 196 с. **5.** Нейман Л.Р. Теоретические основы электротехники: [Учебник для вузов], Том 2 / Л.Р.Нейман, К.С.Демерчан – [3-е изд. Перераб. И доп.]. – Л.: Энергоиздат. Ленинградское отд., 1981. – 416 с. **6.** Pantelyat M.G. Numericalanaiysis of impulseelectromagnetik bields incoft ferromagnetic materials. – International Jornal of Applied Electromagnetics and Mechanics. – 1999, vol. 10. – PP. 185-192. **7.** Гринберг И.П., Шулявский Е.А. Измерители индукции переменных магнитных полей. Киев: Техника, 1982. – 168 с. **8.** Преображенский А.А., Бишард Е.Г. Магнитные материалы и элементы. – М.: Высшая школа, 1986. – 352 с.

СХЕМА МЕХАНИЧЕСКОЙ ЗУБЧАТОЙ КПП С ПЕРЕКЛЮЧЕНИЕМ ПЕРЕДАЧ БЕЗ РАЗРЫВА ПОТОКА ПЕРЕДАВАЕМОЙ МОЩНОСТИ

Михайлов А. Н., Котляров Б. С. , Котляров В. Б., Котляров С. Б.
(ДонНТУ, Донецк, Ялта, Москва, ДНР, Россия)
Тел: +7(964) 7045362; E-mail: velidarkotlarov@mail.ru

Abstract: *The article presents the developed scheme of the gearbox with the use of original components, in particular the block-shaft of gears and eccentric faceplates, which allows switching from one gear to another without breaking the flow of transmitted modality. In the process of gear shifting, the use of the clutch and other mechanisms for synchronizing wheel speeds is excluded. they are made in one block.*
Keywords: *technological machines, gearboxes, transmitted power flow, technologies.*

В работе представлена новая схема механической зубчатой коробке переключения передач (КПП), которая, исключает разрыв передаваемого потока мощности и крутящего момента на рабочие органы. Достижение установленных требований обеспечивается функционально ориентированными технологическими воздействиями на основе существующих технических средств действующего предприятия.

Задачи, решаемые в настоящей работе.

1. Обоснование необходимости разработки зубчатой механической коробки переключения передач без разрыва потока передаваемой мощности и представление описания самой схемы КПП.

2. Описание ограничительных условий в укрупненном виде, устанавливающих границы применения новой КПП по быстродействию переключения.

3. Указаны особенности конструктивных параметров КПП, требующих разработки функционально ориентированных технологических воздействий на различных иерархических уровнях при их изготовлении.

На основании исследований [1] работы существующих и применяемых КПП в различных классах технологических и транспортных машин установлено положение новой схемы КПП в их общей классификации по укрупненным признакам, представленной на рис. 1.

Разработанная схема КПП, обеспечивающая переключение передач без разрыва потока передаваемой мощности, позволяет в процессе переключения исключить из схемы трансмиссии муфту сцепления и как следствие сократить время самого переключения передач. Использовать новую КПП можно в технологических машинах, в транспортных, в счетно-решающих, управляющих и других устройствах.

Принципиальная схема зубчатого зацепления предложенной КПП представлена на рис. 1, на которой литерами $d_{ш}$ и d_{k1-3} обозначены с соответствующими индексами диаметры валов шестерни и колес блок-вала, а литерами D с соответствующими индексами обозначены делительные диаметры зубчатых венцов. Литерами B и S с соответствующими индексами обозначены - ширина венцов и расстояние между торцевыми плоскостями венцов рядом расположенных зубчатых колес.

Литерой e_i с разным сочетанием числовых и буквенных индексов обозначены эксцентриситеты между соответствующими осями венцов зубчатых колес относительно оси вала. При этом разработана схема и проведен анализ КПП как с внешним зацеплением шестерни с зубчатыми колесами блок-вала колес, так и с внутренним зацеплением колес по типу планетарного механизма.

Принципиальная схема новой механической зубчатой КПП без разрыва потока передаваемой мощности, реализующая механизм с внешним зацеплением зубчатых колес, представлена на рис. 1.

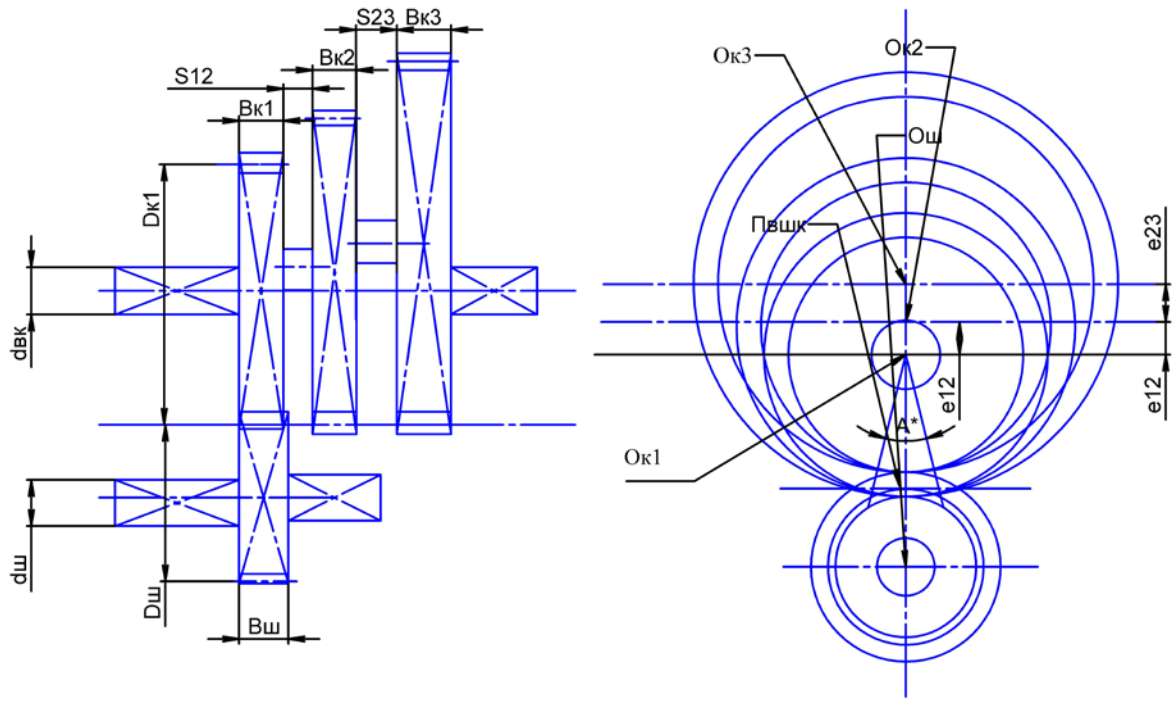


Рис. 1. Принципиальная схема зацепления КПП без разрыва потока передаваемой мощности: а – внешнее зацепление, б – внутреннее зацепление

Новая КПП может быть в машине реализована в различных исполнениях, принимая отличительные черты из разных групп классификации, например:

- КПП может двух-вальной и много-вальной;
- одноступенчатой или многоступенчатой;
- включение КПП может быть ручным, полуавтоматическим или автоматическим;
- включение может быть при остановке механизма или во время движения исполнительных частей;
- исполнение механическое или гибридное, например с электромеханическим или гидравлическим приводом механизма переключения, а также механизма изменения положения координирующих положение осей колес вспомогательных планшайб. За счет планшайб обеспечивается компенсация эксцентриситета при установке взаимного положения вал-шестерни и блок-вала в зацеплении.

Работоспособность предложенной схемы КПП можно проиллюстрировать на схеме переключения передач в различных фазах зацепления и перехода вал-шестерни с одного колеса на другое блок-вала колес, как показано на рис. 2.

На рис. 2 показана последовательность особенностей зацепления вал-шестерни с колесами блок-вала в процессе осуществления переключения передач: а, б, в – фазы зацепления вал-шестерни с колесами блок-вала. Здесь, введено следующее обозначение: $D_ш$ и $D_к$ – делительные диаметры шестерни и колеса; $B_ш$ и $B_к$ – ширина зубчатого венца шестерни и колеса: $O_{к1}$, $O_{к2}$ – оси колес блок-вала; $O_ш$ – ось шестерни; S_{1-2} – расстояние между ребрами зубчатых венцов колес блок-вала; $S_{ц1}$,

$S_{ц2}$ –межосевое расстояние шестерни и соответствующего колеса; e_{1-2} –эксцентриситет осей колеса 1 и колеса 2 относительно общей оси блок-вала колес.

Необходимо отметить, что переключение всегда осуществляется в однозначно определенной и ограниченной угловым сегментом зоне зубчатых венцов блок-вала.

Угловой сегмент каждого из зубчатых колес блок-вала, в границах которого осуществляется перевод вал-шестерни из зацепления с одним зубчатым венцом к другому, ограничивается 4 - 5 зубьями колеса. В рабочую зону переключения попадают два первых зуба зубчатого венца колеса и два заключительных зуба. Первым зубом венца условно можно считать зуб, который лежит в общей плоскости симметрии всех зубчатых венцов блок-вала колес. Первый зуб каждого венца имеет общую прилегающую (касательную) поверхность к вершине зуба на всех венцах одновременно.

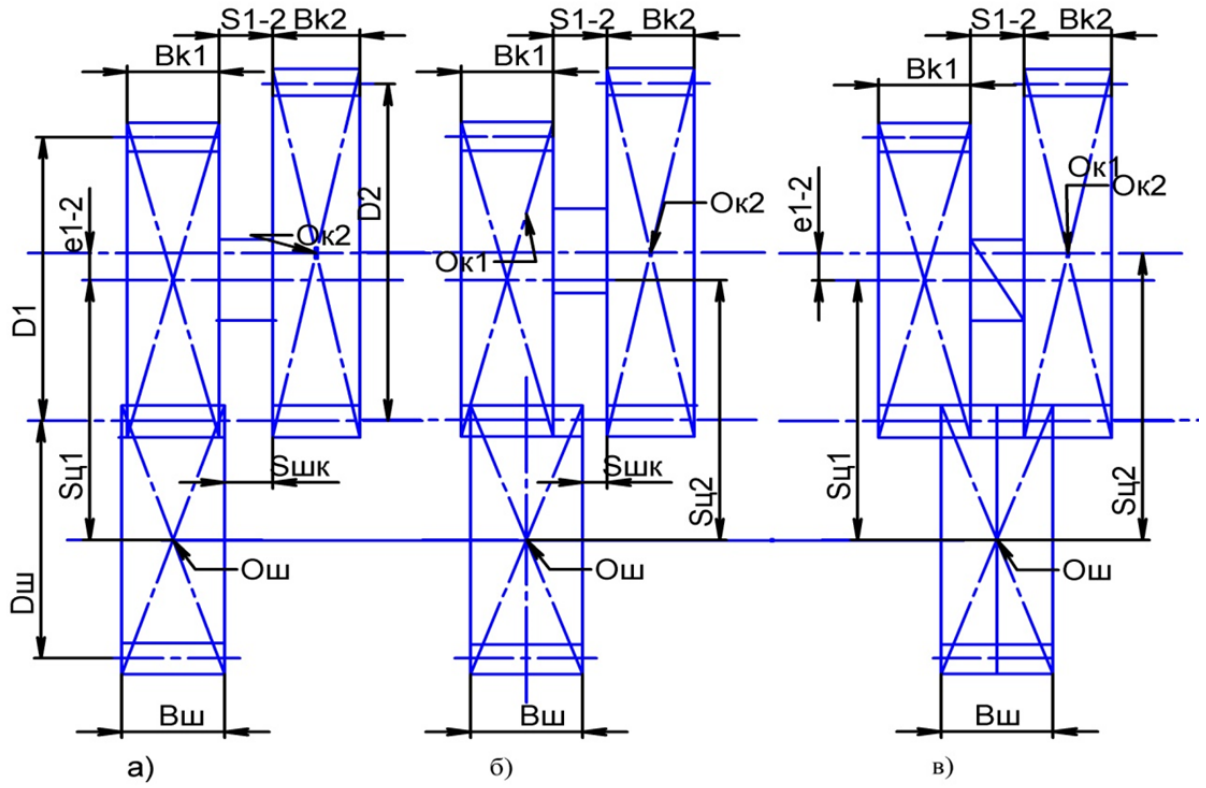


Рис. 2. Последовательность особенностей зацепления вал-шестерни с колесами блок-вала в процессе осуществления переключения передач: а, б, в – фазы зацепления вал-шестерни с колесами блок-вала

Процесс переключения начинается в момент, когда (*n*-1)-ый зуб при количестве n зубьев на венце первого колеса, начинает входить в угловой сектор переключения (рис. 2, а). При количестве зубьев m на венце второго зубчатого колеса в этом угловом секторе находится (*m*-1)-ый зуб венца. В этот момент начинает срабатывать механизм перевода вала-шестерни, который перемещает ее вдоль оси вращения на расстояние шага расположения венцов зубчатых колес блок-вала. Одновременно начинает срабатывать механизм перевода эксцентриковых планшайб, в которых размещены посадочные шейки блок-вала, в новое геометрическое положение.

Оси планшайб переходят за время переключения в новое геометрическое место точек (ГМТ), отличающееся от предыдущего на величину эксцентриситета осей

колес для изменения межосевого расстояния $S_{ц1}$ шестерни и 1-го колеса, и восстановления нового межосевого расстояния шестерни и второго (2-го) колеса S_{21} блок-вала. На рис. 2, б показана фаза начала выхода первого колеса из зацепления с шестерней, и в это время начинает изменяться зазор между боковыми поверхностями венцов шестерни и второго колеса. На рис. 2, в показана фаза, когда в зацеплении с шестерней находятся одновременно зубчатые венцы 1-го и 2-го колес блок-вала. Это момент, когда с шестерней колеса в зацеплении находится 1-ый зуб венца 1-го колеса и 1-ый зуб венца 2-го колеса. В дальнейшем фазы процесса переключения аналогичны рис. 2, а и рис. 2, б.

Конструктивными ограничительными условиями реализации механизма являются соотношения размеров ширины зубчатых венцов, величины эксцентриситетов осей колес, количества зубьев венцов блок-вала колес. Обязательным условием является равенство ширины зубчатых венцов колес между собой и равенство ширины расстояния (шага расположения колес блок-вала) между торцами колес: $B_1=B_2=...B_i$, и $S_{1-2}= S_{2-3}=…S_{(i-1)-i}$, а также соотношение $B_i > S_{(i-1)-i}$, ширина зубчатого венца больше шага размещения колес. Должно выдерживаться и соотношение $Bi > Bк$, т. е. ширина зубчатого венца шестерни должна быть больше ширины зубчатого венца колеса блок-вала на ΔB для обеспечения неразрывности процесса перехода шестерни из зацепления с одним колесом на другое. Конструктивным ограничением является и угловой сектор $\varphi_{кi}$ зубчатых венцов колес и шестерни, в пределах которого осуществляется процесс переключения передачи. Этот сектор венцов колес подвергается модификации по продольной и высотной модификации зубьев с целью облегчения процесса переключения. Величина угла $\varphi_{кi}$ определяется сегментом, включающим в свою зону 4 зуба колес: 2 зуба начиная с 1-го и два зуба: (k)-ый и (k-1)-ый зубья венца при наличии общего числа (k) зубьев на венце, и определяется:

$$\alpha_{кi} = \frac{8\pi}{z_i},$$

где z_i – количество зубьев венца рассматриваемого i-го колеса блок-вала.

Быстродействие механизма переключения передач $t_{пi}$ определится в секундах как время, необходимое для прохождения углового сектора $\alpha_{кi}$i-го колеса угловой зоны от (k-1)-го до 2-го зуба колеса для переключения передачи. Определяется это время из выражения: $t_{пi}=\frac{\alpha_{ki}}{2\times 60\pi n}$, или после преобразований: $t_{пi} = 240/n_i z_i$, где n_i– число оборотов i-го колеса в минуту. Это условие накладывает ограничение на максимальные обороты вращения вала при переключении, учитывающие инерционность элементов и механизмов системы переключения, $n_{i\max} \le 240/t_{ni}z_i$.

Исходя из быстродействия перехода шестерни из зацепления с одного колеса на другое необходимо вести одновременный синтез и расчет конструктивных элементов механизма, изменяющего относительное положение осей эксцентриковых планшайб, и компенсирующих эксцентриситет колес в процессе переключения.

Неизбежное усложнение конструктивных особенностей деталей является модификацией [2] относительно геометрии, поверхностных свойств детали и свойств и структуры материала внутренних зон деталей.

Для обеспечения конструктивных параметров блок-вала колес необходимо разрабатывать систему воздействия технологическими средствами на всех этапах изготовления деталей, начиная от формирования заготовок, учитывая асимметрию детали, составленной из тел вращения, до финишных операций [3, 4, 5]. Выбор из

всех возможных вариантов оптимальных технологических воздействий с применением имеющихся средств приводит к формированию частного случая функционально-ориентированной технологии (ФОТ), общие принципы и методология которой ранее изложены в работах [4, 5, 6]. Каждому параметру детали ставится в соответствие оптимальный комплекс технологических средств с расчетными режимами воздействия на каждой операции обработки, включая выбор и формирование заготовки, механообработку, обеспечение поверхностных свойств, модификации, покрытия.

В результате исследований:

1. Разработана схема новой КПП, обеспечивающая переключение передач без разрыва потока передаваемой мощности. Аналитически подтверждена работоспособность новой схемы КПП.

2. Определены некоторые особенности новой коробки передач, требующие регламентировать ограничивающие условия использования вследствие существования границ по быстродействию механизма и во исключение инерционных влияний на процесс переключения массовых характеристик деталей, входящих в этот механизм.

3. Описаны некоторые особенности основных деталей КПП, требующих разработки функционально ориентированной технологии изготовления, учитывающего асимметричность деталей вращения, а также фрагментарную модификацию зубьев блок-вала колес на части зубчатых венцов.

Характеристические показатели функционально-ориентированных технологий относительно обрабатываемых деталей имеют иерархическую соподчиненность на протяжении всего цикла изготовления, формализованное отражение которых требует изложения в отдельной работе.

Список литературы: 1. Дьяков, И. Ф. Ступенчатые и планетарные коробки передач транспортных машин. Учебное пособие. / И. Ф. Дьяков, В. И. Тарханов. – Ульяновск: УлГТУ, 2011. – 143 с. ISBN 978-5-9795-0773-6. **2**. Котляров, Б. С. Основы структурного синтеза модификаций зубьев цилиндрических колес и схем многоинструментальных роторных машин для их формообразования. Автореферат дис. ... канд. техн. наук: 05.02.02. - Харьков, 1989. – 25 с. **3.** Базров, Б. М. Основы технологии машиностроения /Учебное пособие// Б. М. Базров. - М.: Машиностроение, 2005. – 736 с. **4.** Михайлов, А.Н. Общий подход в создании функционально-ориентированных и интегрированных технологий машиностроения / Машиностроение и техносфера XXI века. // Сборник трудов XII международной научно-технической конференции в г. Севастополе 12-17 сентября 2005 г. в 5-ти томах. – Донецк: ДонНТУ, 2005. - Т.2. - С.261-274. **5.** Суслов, А. Г. Функционально-ориентированные технологии обработки рабочих поверхностей деталей машин. – М.: Московский государственный индустриальный университет, 2014. **6.** Михайлов А.Н. Основы синтеза функционально-ориентированных технологий. – Донецк: ДонНТУ, 2009. – 346 с. - ISBN 966-7907-24-4.

ОБЩИЙ ПОДХОД СИНТЕЗА КОМПЛЕКСНОГО МНОГОСВЯЗНОГО ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ОБЕСПЕЧЕНИЯ ФУНКЦИОНАЛЬНО-ОРИЕНТИРОВАННЫХ СВОЙСТВ ГАЗОТУРБИННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

Михайлов Д. А., Шейко Е.А., Михайлов В.А., Михайлов А.Н.
(АГЗ МЧС ДНР, ДонНТУ, г. Донецк, ДНР)
Тел.: +38(071) 3060879; E-mail: tm@fimm.donntu.org

Abstract: *The paper analyses the structure of a gas turbine engine and establishes the main features of the operation of its structural elements. Methods and principles of increasing the technical and economic indicators of aircraft engine operation are proposed. A general approach to the synthesis of an integrated multiply connected technological process for providing functionally oriented properties of a gas turbine engine has been developed. The analysis of the features of providing functionally oriented properties of the structural elements of a gas turbine engine is carried out.*

Key words: *gas turbine engine, functionally oriented properties, multiply connected technological process, resource.*

1. Введение

В настоящее время газотурбинные двигатели (ГТД) широко используются в авиационной технике, в качестве источников движения. Они применяются для современных самолетов и вертолетов, судовых установок и газотурбинных систем нефтегазовой промышленности и других технологических систем. Это обусловлено высокими технико-экономическими параметрами ГТД и нетрадиционными эксплуатационными характеристиками [1, 2, 3].

Вместе с тем, ГТД представляет собой сложную систему, в которой элементы и подсистемы эксплуатируются в различных эксплуатационных условиях. При этом на его детали и узлы действуют неодинаковые и переменные абразивно-эрозионные, температурные, химические, физические, солевые и другие эксплуатационные воздействия (ЭВ). Особенно значительное влияние этих параметров проявляется на лопатках компрессора, турбины и свободной турбины.

Следует отметить, что в подсистемах ГТД лопатки располагаются группами. При этом внутри группы лопаток возникают неравномерные ЭВ. А также возникают неравномерные ЭВ между группами лопаток, между подсистемами в ГТД. Причем зоны, элементы и поверхности лопатки испытывают также изменяющиеся ЭВ. Все это приводит к возникновению неоднородностей износа и разрушений в ГТД. Это обуславливает снижение технико-экономических показателей ГТД в целом.

Для повышения эксплуатационных параметров ГТД целесообразно обеспечение функционально-ориентированных свойств (ФОС) его деталей [4, 5]. А также для выравнивания ресурса элементов и подсистем ГТД в работе [6] предлагается выравнивать ресурс лопаток компрессора. При этом для повышения ресурса всего ГТД необходимы дальнейшие исследования. При этом выполненные исследования показали, что обеспечение ФОС элементов и подсистем обеспечивают возможность дальнейшего повышения ресурса деталей и узлов ГТД, выравнивания ресурса лопаток в группах, групп лопаток относительно друг друга и подсистем ГТД. Вместе с тем для решения этих вопросов необходимы дальнейшие исследования, как в направлении обеспечения ФОС элементов и выравнивания ресурса подсистем ГТД, так и позиций создания технологий и технологических процессов (ТП) для их реализации.

Для достижения этого необходимы специальные технологии, которые были бы связаны между собой и обеспечивали решение вопросов технологического инжиниринга ГТД. Причем этот технологический инжиниринг должен формироваться на новой

основе, базирующийся на обеспечении нетрадиционных ФОС всех его элементов и подсистем структуры, технологическом управлении их параметрами, решении вопросов повышения ресурса элементов, обеспечении заданного, требуемого или предельного ресурса ГТД, выполняемых посредством установленных эксплуатационных и технологических связей. При этом технологический инжиниринг ГТД на базе ФОС элементов и подсистем позволяет обеспечивать равный, кратный или функционально зависимый ресурс подсистем, групп деталей, деталей групп, отдельных деталей, их поверхностей и зон, в условиях изменяющихся ЭВ на эти элементы. Это позволяет адаптировать свойства элементов и подсистем при изготовлении к особенностям их эксплуатации. А также обеспечивает решение вопросов повышения эксплуатационного потенциала всех составляющих структуры ГТД к его предельному значению, увеличения уровня ремонтопригодности деталей за счет многократного их восстановления.

Целью данной работы является повышение технико-экономических показателей эксплуатации ГТД за счет обеспечения равного, кратного или функционально-зависимого ресурса его структурных элементов, а также формирования их ФОС посредством комплексного многосвязного ТП, создаваемого на основе закономерностей и установленных связей между параметрами их эксплуатации и технологического обеспечения.

В соответствии с поставленной целью в работе определены следующие задачи:

- выполнить анализ структуры ГТД и установить основные особенности эксплуатации структурных элементов;

- предложить методы и принципы повышения технико-экономических показателей эксплуатации ГТД;

- разработать общий подход синтеза комплексного многосвязного ТП обеспечения ФОС ГТД;

- выполнить анализ особенности обеспечения ФОС структурных элементов ГТД.

Эти задачи решаются в данной работе.

2. Структура ГТД и основные особенности эксплуатации структурных элементов

Можно отметить, что ГТД представляет собой сложную систему, состоящую из множества элементов различных уровней. В целом, структуру ГТД можно представить множествами. Структура это совокупность элементов и отношений между ними. Для ГТД элементами могут выступать подсистемы, группы, детали группы, элементы детали, элементы поверхности , макро-, микро-, нанозоны. Отношения между ними можно реализовывать связями. Представим элементы структуры ГТД следующими иерархическими составляющими:

- система ГТД (*Str {GTE}* - структура 7-го уровня);

- подсистемы ГТД (*Str {ST}* - структура 6-го уровня);

- группы деталей (лопаток) относительно друг друга (*Str {GR}* - структура 5-го уровня);

- детали (лопатки) группы (*Str {G}* - структура 4-го уровня);

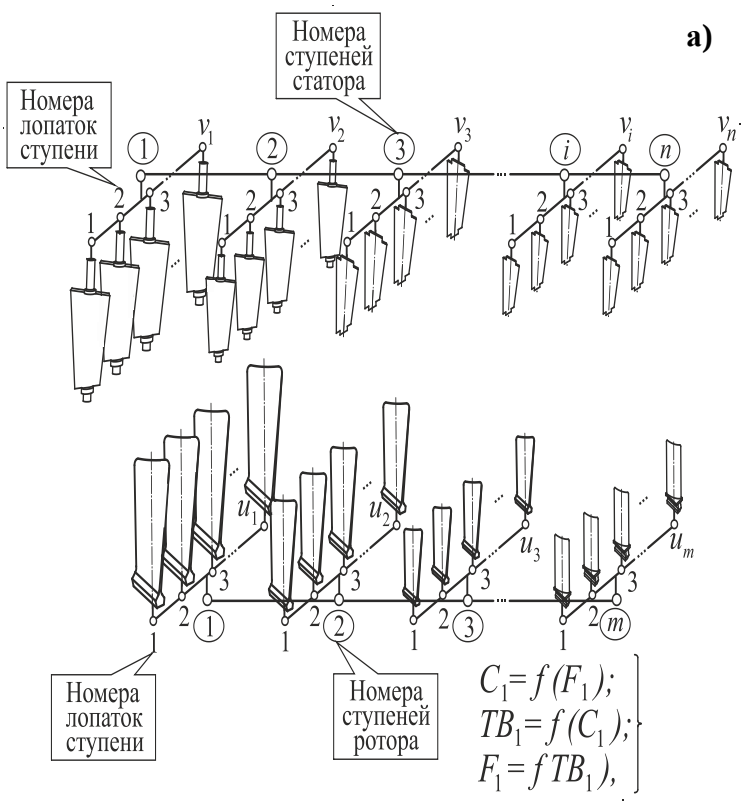
- элементы детали (лопатки) (*Str {D}* - структура 3-го уровня);

- элементы поверхности (*Str {P}* - структура 2-го уровня);

- макро-, микро-, нанозоны (*Str {Z}* - структура 1-го уровня).

В данном случае, в качестве связей могут быть геометрические параметры элементов их физико-механические свойства и другие параметры.

Исходя из этого, иерархическую структуру ГТД можно представить следующим выражением:



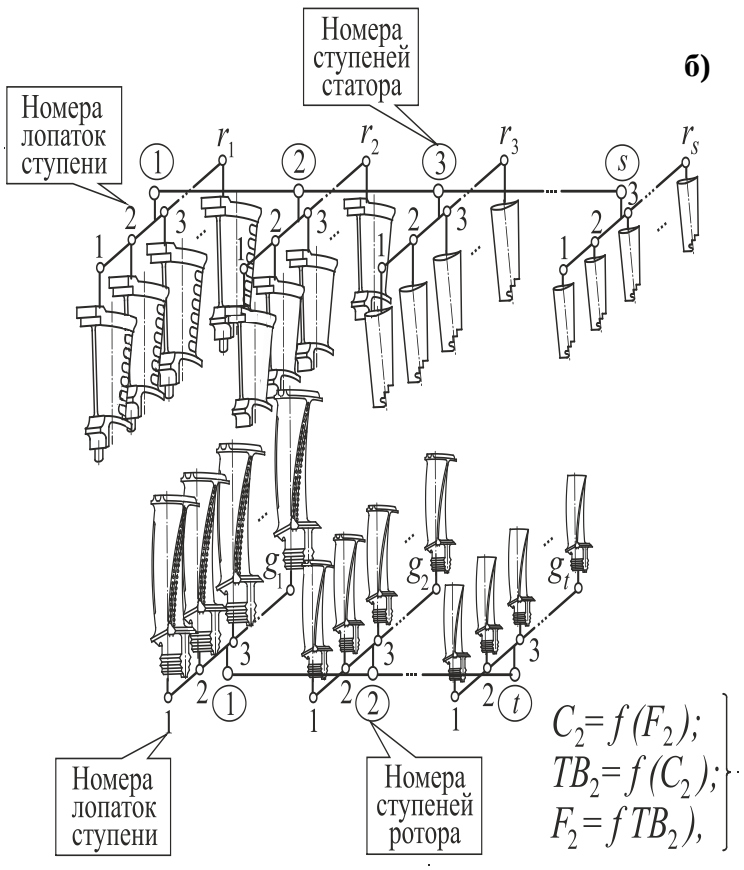


Рис. 1. Структурная схема групп лопаток ГТД: а – компрессор, б - турбина

$$\left.\begin{aligned} Str\,\{GTE\} &= \{X_7,\, A_7\},\\ Str\,\{ST\} &= \{X_6,\, A_6\}\ ,\\ Str\,\{GR\} &= \{X_5,\, A_5\}\ ,\\ Str\,\{G\} &= \{X_4,\, A_4\}\ ,\\ Str\,\{D\} &= \{X_3,\, A_3\}\ ,\\ Str\,\{P\} &= \{X_2,\, A_2\}\ ,\\ Str\,\{Z\} &= \{X_1,\, A_1\}\ ; \end{aligned}\right\} \quad (1)$$

где *Str* – структура подсистемы или элемента;

X_i - *i* -е множество подсистем или элементов структуры;

A_i - *i* -е множество отношений между подсистемами и элементами структуры.

В качестве примера, на рис. 1 представлена структурная схема групп лопаток ГТД. Здесь, показано: рис. 1,а – группы лопаток компрессора, рис. 1, б – группы лопаток турбина. Эти группы лопаток монтируются в подсистеме – компрессоре (рис. 1, а) и в подсистеме – турбине (рис. 1, б). При этом лопатки компрессора и турбины монтируются на дисках ротора и в статоре - группами.

В качестве другого примера можно представить структуру турбокомпрессора ГТД. На рис. 2 показана структурная схема лопаток турбокомпрессора и взаимосвязей их параметров. В этом случае, лопатки компрессора и турбины представлены как отдельные группы, они группируются как подсистемы.

Можно отметить, что вследствие того, что

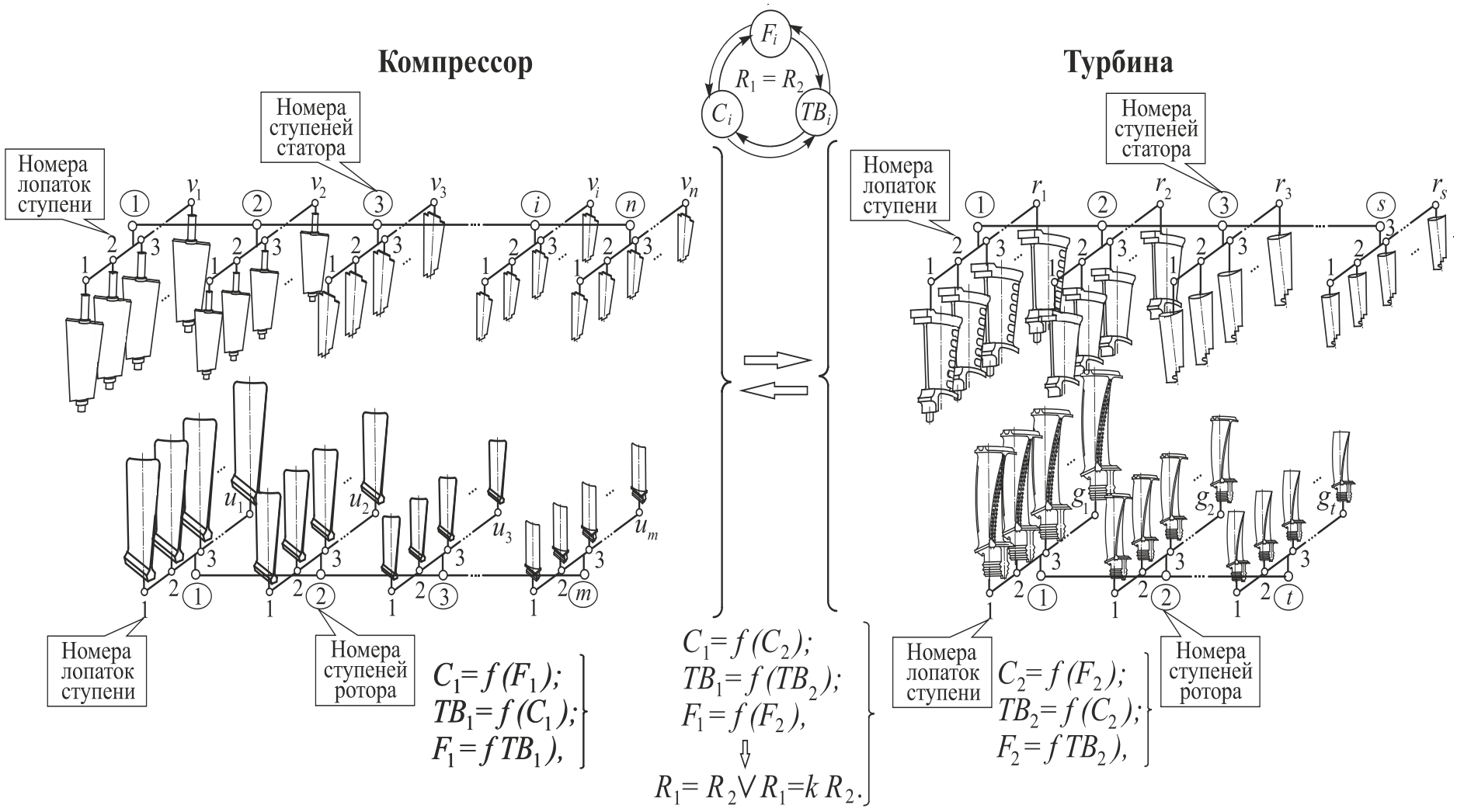


Рис. 2. Структурная схема лопаток турбокомпрессора и взаимосвязей их параметров

состав ГТД имеет иерархическую структуру, содержащую подсистемы, группы, детали групп, детали, поверхности детали и зоны, особенности их эксплуатации имеют определенные параметры эксплуатации, характеризуемые неравномерностью и неодинаковостью их эксплуатации, разрушения и износа (рис. 3).

Выполненные исследования позволили установить, что в процессе эксплуатации ГТД по его структуре возникают определенные неравномерности, а именно:

- неравномерности ЭВ 7-ми родов, возникающие от действия абразивно-эрозионной среды пылегазовоздушного потока, температурных, солевых химических и других воздействий;

- неравномерности разрушения и износ 7-ми родов.

На рис. 3 представлена причино-следственная цепочка особенностей эксплуатации ГТД. На этой схеме представлена следующая цепочка причино-следственных связей:

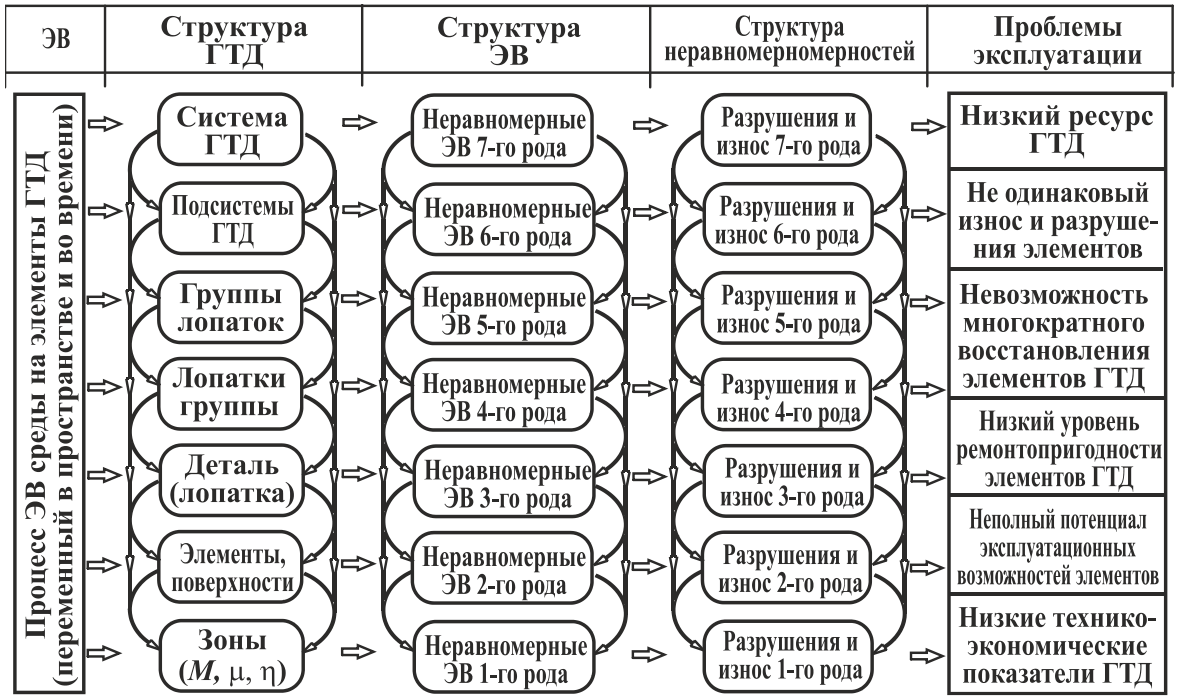


Рис. 3. Причино-следственная цепочка особенностей эксплуатации ГТД

- эксплуатационные воздействия (ЭВ);
- структура ГТД;
- особенности структуры ЭВ;
- структура неравномерностей разрушения и износа;
- возникающие проблемы эксплуатации.

Можно отметить, что в ГТД неравномерности возникают из-за различных факторов. Например, неравномерности 7-го рода разрушений и износа элементов возникают из-за изменяющихся параметров ЭВ в ГТД (рис. 4), а именно:

- особенностей термогазодинамического цикла Брайтона (рис. 4,а), на основе которого функционирует система ГТД;

- реальных эксплуатационных особенностей, возникающих вследствие изменяющихся параметров ЭВ (изменяющиеся параметры по длине двигателя) (рис. 4,б).

На рис. 4 показаны особенности, вызывающие возникновение изменяющихся параметров ЭВ в ГТД. Здесь, показано следующее: на рис. 4, а – диаграмма идеального цикла Брайтона (изменяющиеся параметры по подсистемам); на рис. 4, б – эксплуатационные особенности, возникающие из-за изменяющихся параметров ЭВ (изменяющиеся парамет-

ры по длине двигателя); 1 – график изменения температуры потока; 2 – график изменения давления; 3 – график изменения скорости движения потока по тракту двигателя.

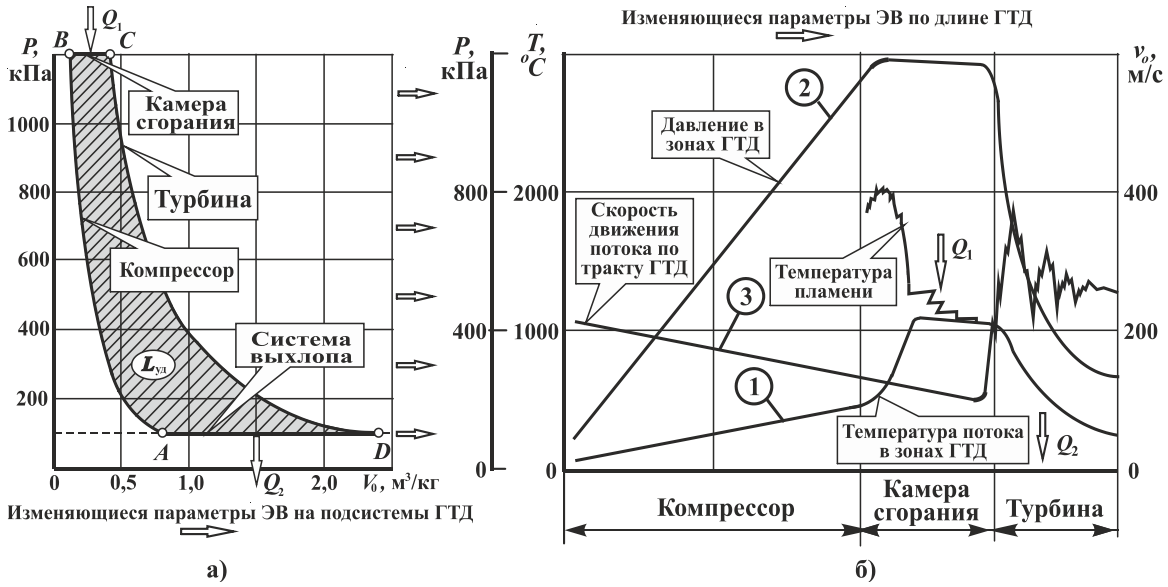


Рис. 4. Особенности, вызывающие возникновение изменяющихся параметров ЭВ в ГТД [1]: а – диаграмма идеального цикла Брайтона (изменяющиеся параметры по подсистемам); б – эксплуатационные особенности, возникающие из-за изменяющихся параметров ЭВ (изменяющиеся параметры по длине двигателя) 1 – график изменения температуры потока; 2 – график изменения давления; 3 – график изменения скорости движения потока по тракту двигателя

а)

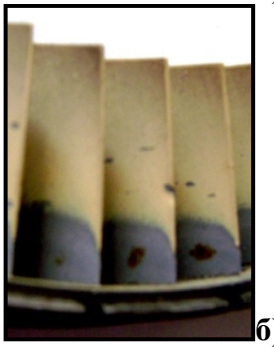

б)

Рис. 5. Общий вид особенностей износа лопаток компрессора: а – лопатки ротора, б – лопатки статора направляющего аппарата

Приведенные на рис. 4 неравномерности ЭВ и разрушений в подсистемах (разрушения 7-го рода) образуются из-за действия различных и неодинаковых воздействий по тракту двигателя и особенностей работы ГТД.

Можно отметить, что приведенные на рис. 4 особенности работы двигателя вызывают неравномерности воздействий и износа элементов между группами лопаток (рис. 2) и/или группами лопаток или лопаток в группах (рис. 1).

Также следует отметить, что неравномерности разрушения или износа лопатки (рабочих поверхностей) (рис. 5) возникают в результате следующих особенностей:
- пространственной формы пера лопатки и ее расположением в ГТД;
- кинематической структуры движения лопатки в подсистемах ГТД;
- особенностей геометрических параметров тракта ГТД;
- неравномерной концентрацией пыли, абразива и других частиц по тракту ГТД;
- особенностями изменения скорости, давления, температуры по тракту и зонам ГТД и тому подобного.

На рис. 5. представлен общий вид особенностей износа лопаток компрессора ГТД. Здесь показано: на рис. 5, а – лопатки ротора, на рис. 5, б – лопатки статора направляющего аппарата. Анализ особенностей разруше-

ния рабочих поверхностей лопаток ротора и лопаток статора позволил установить, что износ их различен. При этом анализ особенностей износа лопаток в группах показал, что их износ по длине авиационного двигателя также различен.

Анализ особенностей разрушений лопаток турбины (рис. 6) показал, что здесь также имеются определенные особенности своего износа, которые характеризуются действием изменяющихся ЭВ. Это обусловлено особенностями движения газов по тракту и расположения лопаток турбины (развертка) (рис. 7). Можно отметить, что износ поверхностей каждой лопатки турбины, лопаток группы (ротора, статора) и групп лопаток, например компрессора и турбины, различен.

Рис. 6. Общий вид лопаток турбины ГТД модели ТВ3-117

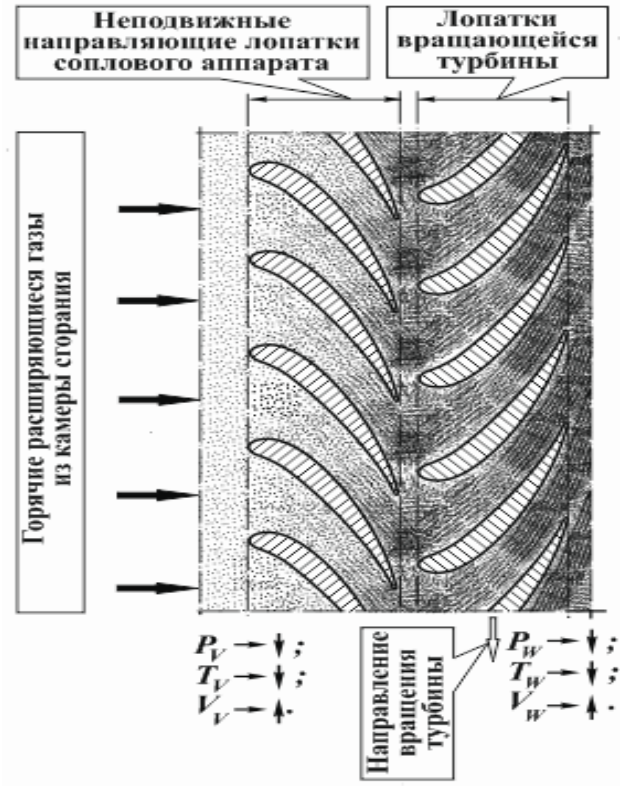


Рис. 7. Гипотетическая схема особенностей движения газов по тракту и расположения лопаток турбины (развертка)

На рис. 6 показан общий вид лопаток турбины ГТД модели ТВ3-117, а на рис. 7 представлена гипотетическая схема особенностей движения газов по тракту и расположения лопаток турбины (развертка).

Таким образом, выполненные исследования позволили установить, что структура элементов ГТД иерархична, при этом ее структуру можно представлять как систему, составленную из элементов 7-ми классов. В процессе эксплуатации ГТД действуют неравномерные эксплуатационные функции, которые гипотетически можно представлять как иерархическую структуру 7-ми родов, вызывающие неравномерные износы и разрушения элементов ГТД 7-ми родов (рис. 3):

- неравномерности разрушения и износа структурных элементов ГТД 1-го рода;
- неравномерности разрушения и износа структурных элементов ГТД 2-го рода;
- неравномерности разрушения и износа структурных элементов ГТД 3-го рода;
- неравномерности разрушения и износа структурных элементов ГТД 4-го рода;
- неравномерности разрушения и износа структурных элементов ГТД 5-го рода;

- неравномерности разрушения и износа структурных элементов ГТД 6-го рода;

- неравномерности разрушения и износа структурных элементов ГТД 7-го рода.

Для решения вопросов повышения ресурса ГТД, в условиях действия неравномерностей 7-ми родов, необходимы специальные технологические подходы и решение вопросов обеспечения ФОС элементов и подсистем авиационных двигателей.

3. Особенности и основные принципы повышения технико-экономических показателей эксплуатации ГТД

Проведенные исследования позволили установить, что элементы и подсистемы ГТД эксплуатируются в сложных условиях, характеризующихся высокими нагрузочными и скоростными параметрами. При этом в этих условиях на элементы и подсистемы действуют неравномерные эксплуатационные функции, структурируемые разрушениями и износом 7-ми родов.

Для повышения ресурса ГТД и его технико-экономических показателей, в условиях действия неравномерностей ЭВ, в данной работе предлагается использование следующих подходов и принципов:

- обеспечение структурным элементам и подсистемам ГТД ФОС [4];

- обеспечение равного, кратного или функционально-зависимого ресурса элементов и подсистем ГТД [6];

- повышение ресурса элементов и подсистем ГТД выполняется из условия увеличения их ресурса с более низким ресурсом до значения элементов и подсистем с предельным ресурсом;

- регулирование или управление свойствами элементов и подсистем ГТД на основе иерархических связей;

- обеспечение ФОС на основе комплексного многосвязного технологического процесса (ТП) [7, 8].

Можно отметить, что для ГТД, работающих в условиях действия неравномерностей износа и разрушения элементов и подсистем, указанные вопросы могут быть решены за счет использования следующих принципов:

- одинаковости износа или разрушения элементов и подсистем структуры относительно друг друга;

- единовременности износа или разрушения элементов и подсистем структуры относительно друг друга;

- равномерности износа или разрушения элементов и подсистем структуры относительно друг друга;

- зависимости параметров износа или разрушения элементов и подсистем структуры относительно друг друга,

- возможности многократного восстановления элементов и подсистем структуры относительно друг друга.

Обеспечение ФОС элементов и подсистем ГТД и указанные выше принципы позволяют следующее:

- обеспечивать свойства элементов и подсистем структуры ГТД на основе связей параметров путем реализации комплексного многосвязного ТП;

- обеспечивают повышение ресурса и технико-экономических параметров;

- обеспечивают равный, кратный или функционально-зависимый ресурс элементов и подсистем структуры ГТД;

- адаптируют свойства элементов и подсистем структуры ГТД к особенностям их эксплуатации;

- обеспечивается возможность регулировки или управления эксплуатационными свойствами элементов и подсистем структуры ГТД на этапе технологического обеспечения их свойств;

- повышается ремонтопригодность деталей элементов и подсистем структуры ГТД, обеспечивается возможность многократного восстановления эксплуатационных свойств деталей при ремонтах;

- повышается эксплуатационный потенциал элементов и подсистем ГТД.

Решение указанных вопросов может быть достигнуто на базе комплексного многосвязного ТП обеспечения ФОС элементов и подсистем структуры ГТД.

4. Общий подход синтеза комплексного многосвязного ТП обеспечения ФОС элементов и подсистем ГТД

ФОС изделий это специальные свойства, которые ориентированы в детале в зависимости от особенностей действия ЭВ в пространстве и во времени, в соответствии с группой особых принципов [4]. ФОС элементов и подсистем структуры ГТД позволяют решать указанные выше вопросы и обеспечивать повышение технико-экономических показателей авиационных двигателей [7].

Для обеспечения ФОС элементов и подсистем структуры ГТД необходима специальная технология, которая бы могла решать вопросы формирования свойств в зависимости от неравномерностей действия ЭВ, а именно связей параметров технологических процессов, при этом для всех деталей двигателя.

На рис. 8 представлена схема синтеза комплексного многосвязного ТП обеспечения ФОС элементам ГТД. Здесь показано, что ГТД структурируется по 7-ми уровням элементов. При этом между элементами структуры ГТД действуют определенные связи 7-ми уровней, возникающие как определенные особенности износа и разрушений деталей двигателя. В этом случае, формирование ФОС элементов и подсистем ГТД производится за счет комплексного многосвязного ТП.

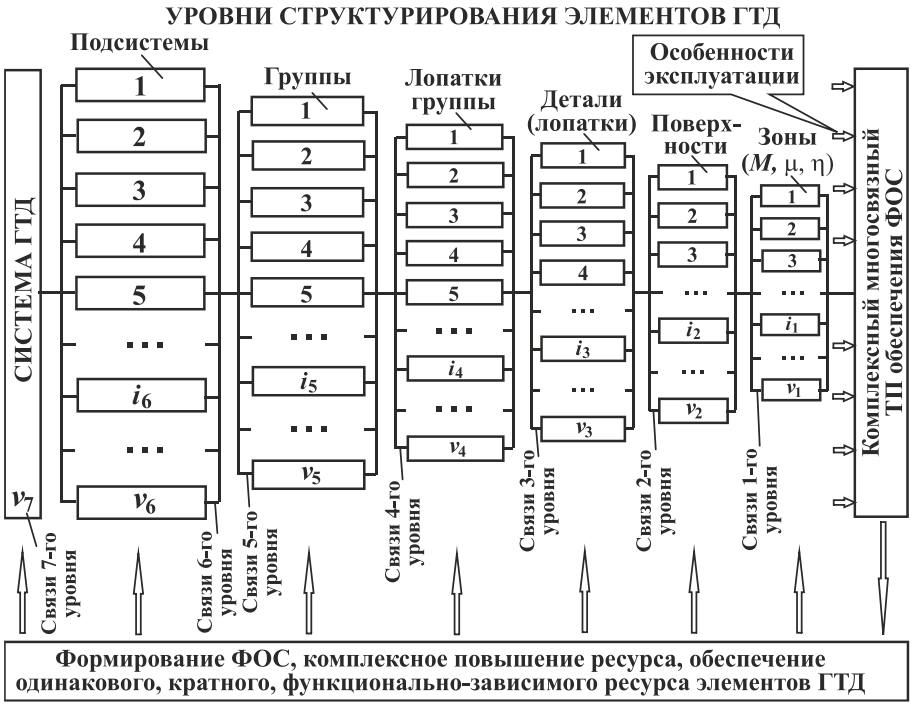


Рис. 8. Схема синтеза комплексного многосвязного технологического процесса (ТП) обеспечения ФОС элементам ГТД

Гипотетическая схема общего подхода в формировании ФОС и синтеза комплексного многосвязного ТП их обеспечения для элементов структуры ГТД приведена на рис. 9.

Здесь показано, что в процессе эксплуатации ГТД на его элементы и подсистемы действуют неравномерные эксплуатационные воздействия, которые приводят к возникновению неравномерностей износа или разрушений 7-ми родов. Для повышения технико-экономических показателей ГТД для каждого элемента структуры, мощностью S_k , и подсистем структуры, мощностью v_6 , необходимо обеспечивать следующее:

- функционально-ориентированные свойства;

- комплексное повышение ресурса;

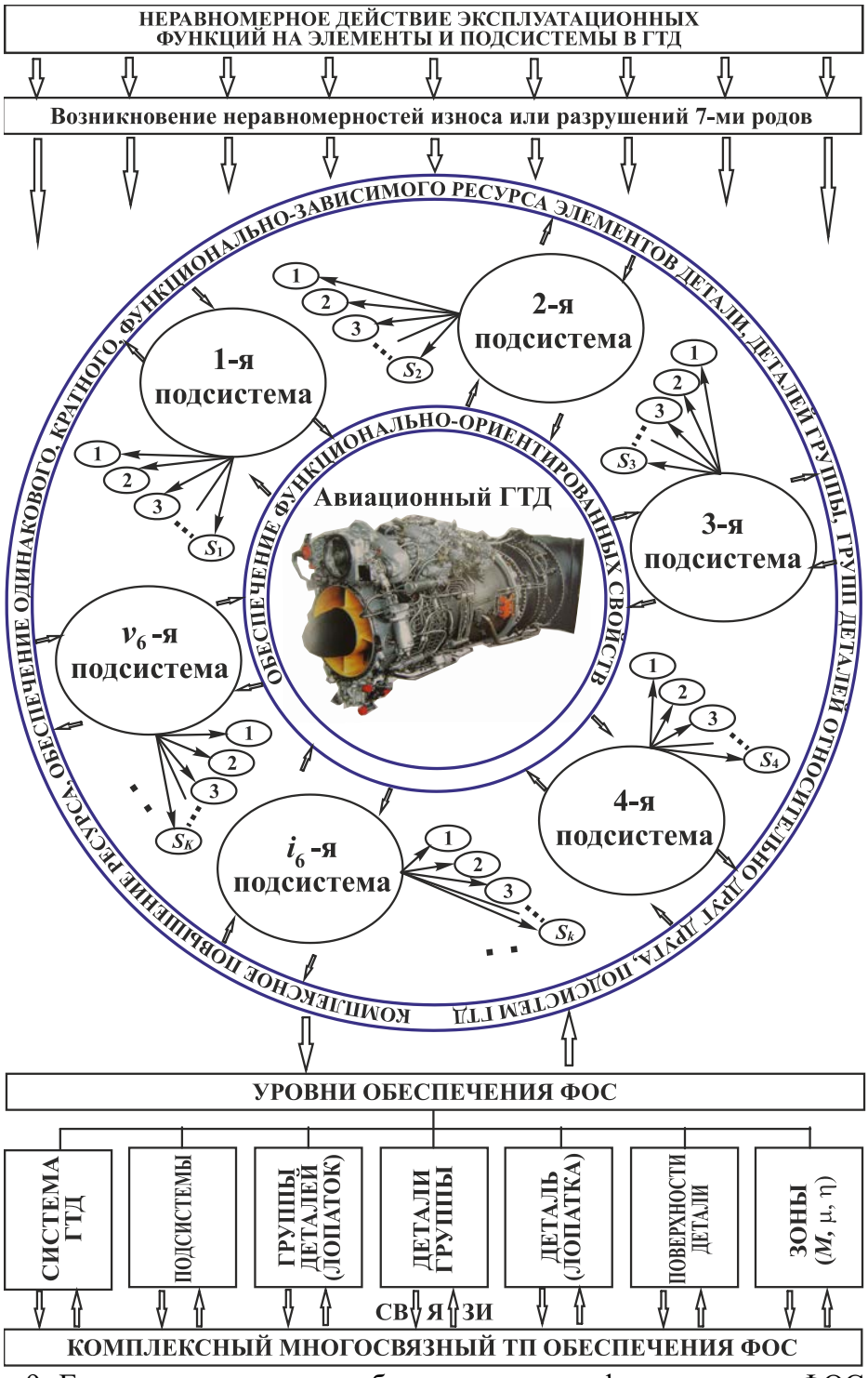


Рис. 9. Гипотетическая схема общего подхода в формировании ФОС и синтеза комплексного многосвязного ТП их обеспечения для ГТД

- обеспечение одинакового (равного), кратного, функционально-зависимого ресурса элементов структуры.

Можно отметить, что обеспечение ФОС элементов и подсистем структуры в общем подходе выполняется по 7-ми уровням их обеспечения на базе установленных связей. При этом для обеспечения ФОС необходим комплексный многосвязный ТП (рис. 9).

В целом, обеспечение свойств элементов и подсистем структуры ГТД базируется на системном подходе, в котором между элементами действуют итерационно-рекуррентные связи (рис. 10).

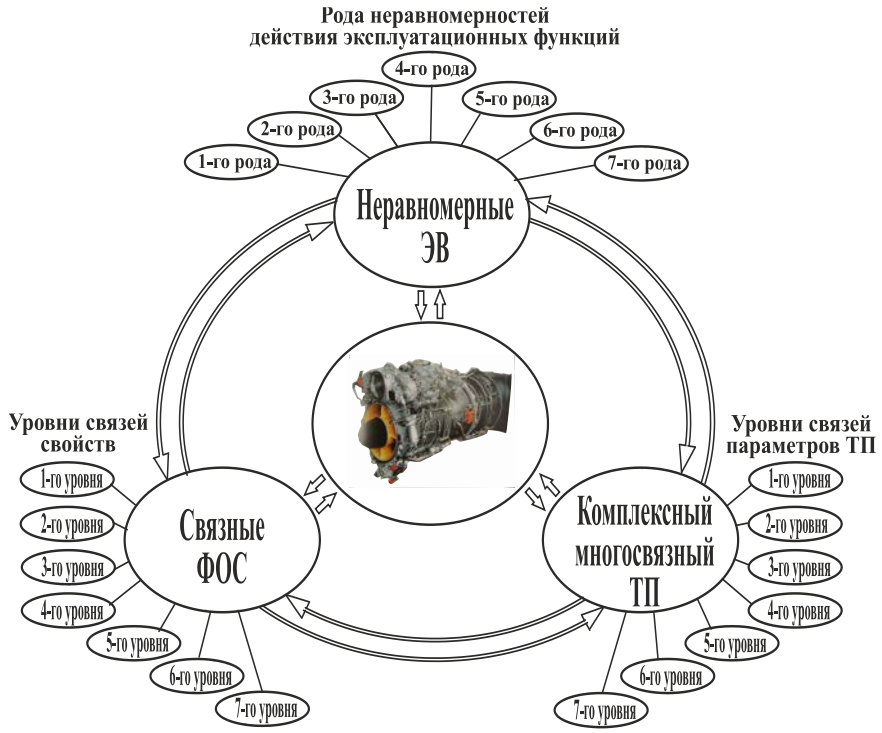


Рис. 10. Гипотетическая схема синтеза комплексного многосвязного ТП для обеспечения связных ФОС в условиях действия неравномерных ЭВ

На рис. 10 представлена гипотетическая схема синтеза комплексного многосвязного ТП для обеспечения связных ФОС в условиях действия неравномерных ЭВ. В этом подходе необходимо связывать (прямая и обратная связь) следующие составляющие:

- особенности действия неравномерных ЭВ (7-мь родов неравномерностей);
- комплексный многосвязный ТП (7-мь уровней связей параметров);
- связные ФОС (7-мь уровней связей свойств).

На рис. 11 представлена классификация обеспечения ФОС ГТД. Они могут варьироваться следующим образом:

- по виду изменения параметров свойств;
- по характеру изменения параметров свойств;
- по типу изменения параметров свойств;
- по особенностям обеспечения свойств;
- по наличию связей параметров свойств;
- по уровню изменения параметров свойств;
- по количеству использования принципов ориентации;
- в зависимости от вида применяемой технологии;
- по степени реализации свойств.

На базе этой классификации (рис. 11) определяются варианты особенности обеспечения ФОС элементов и подсистем ГТД (рис. 12). В этом случае, основные особенности обеспечения ФОС ГТД определяются следующими составляющими:

- условиями применения;
- получаемыми свойствами;
- уровнями обеспечения;
- методами обеспечения;
- получаемыми результатами.

Представленные особенности обеспечения ФОС ГТД определяют характеристики и получаемые результаты обеспечения ФОС ГТД.

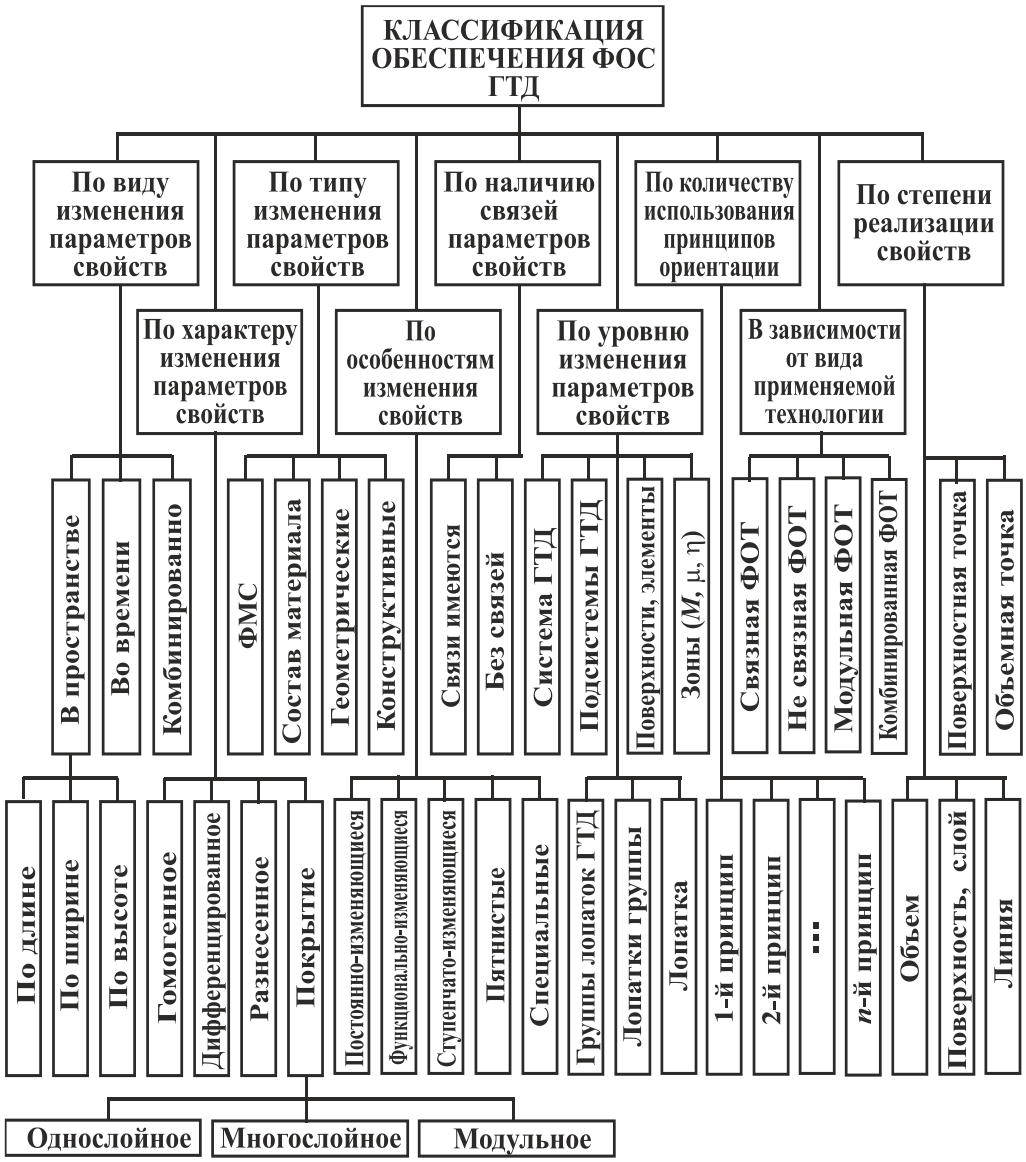


Рис. 11. Классификация обеспечения ФОТ ГТД

На основе приведенных данных формируется комплексный многосвязный ТП обеспечения ФОС элементам и подсистемам ГТД (рис. 13). На рис. 13 представлена схема синтеза комплексного многосвязного ТП обеспечения ФОС элементам ГТД. В соответствии с этой схемой комплексный многосвязный ТП обеспечения ФОС формируется в несколько этапов:

- 1-й этап: декомпозиция системы ГТД на составляющие 1, 2, 3, …, *j*, …, *m* ; установление особенностей связей между элементами и подсистемами по 7-ми уровням;

- 2-й этап: синтез *k*-ой детале-операции (ДО) для *j*-ой детали; на этом этапе возможны следующие варианты обеспечения свойств: связная детале-операция (СДО) с ФОС, ДО с ФОС, СДО без ФОС, ДО без ФОС; на этом этапе, с учетом связей 7-ми уровней, выполняется синтез составляющих структуры для 1-го связного технологического процесса (СТП), затем для 2-го СТП, далее для *j*-го СТП, и потом для *m*-го СТП;

- 3-й этап: выполняется композиция структуры 1-го связного технологического процесса (СТП), затем 2-го СТП, далее *j*-го СТП, и потом *m*-го СТП;

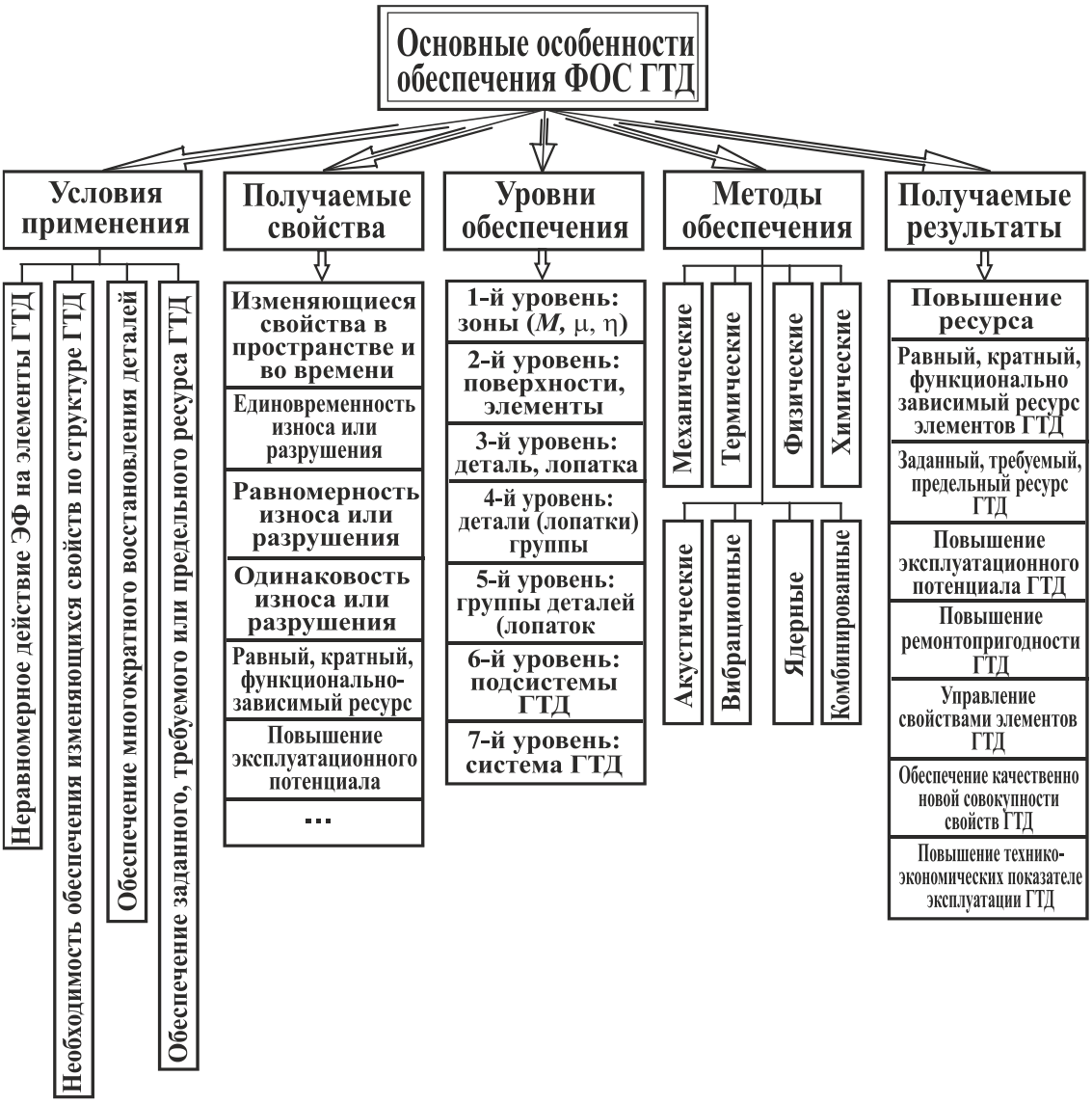


Рис. 12. Основные особенности обеспечения ФОС ГТД

- 4-й этап: выполняется композиция структуры комплексного многосвязного ТП обеспечения ФОС элементов и подсистем ГТД.

Можно отметить, что процесс реализации ДО и разработка *j*-го СТП в представленной на рис. 13 схеме выполняются на основе установленных закономерностей [7] относительно технологических процессов в СТП. На рис. 13 введено следующее обозначения: $\odot$ - знак операции декомпозиции; $\otimes$ - знак операции композиции; ДО – детале-операция; СДО – связная детале-операция; СТП – связный технологический процесс.

Также следует отметить, что структура СТП различных уровней комплексного многосвязного ТП (КМТП) должна синтезироваться на основе итерационно-рекуррентных связей. На рис. 14 представлена схема с закономерностями связей уровней структур технологических процессов реализации КМТП формирования ФОС элементов ГТД. На базе представленной схемы выполняется синтез структуры КМТП обеспечения ФОС элементов и подсистем ГТД.

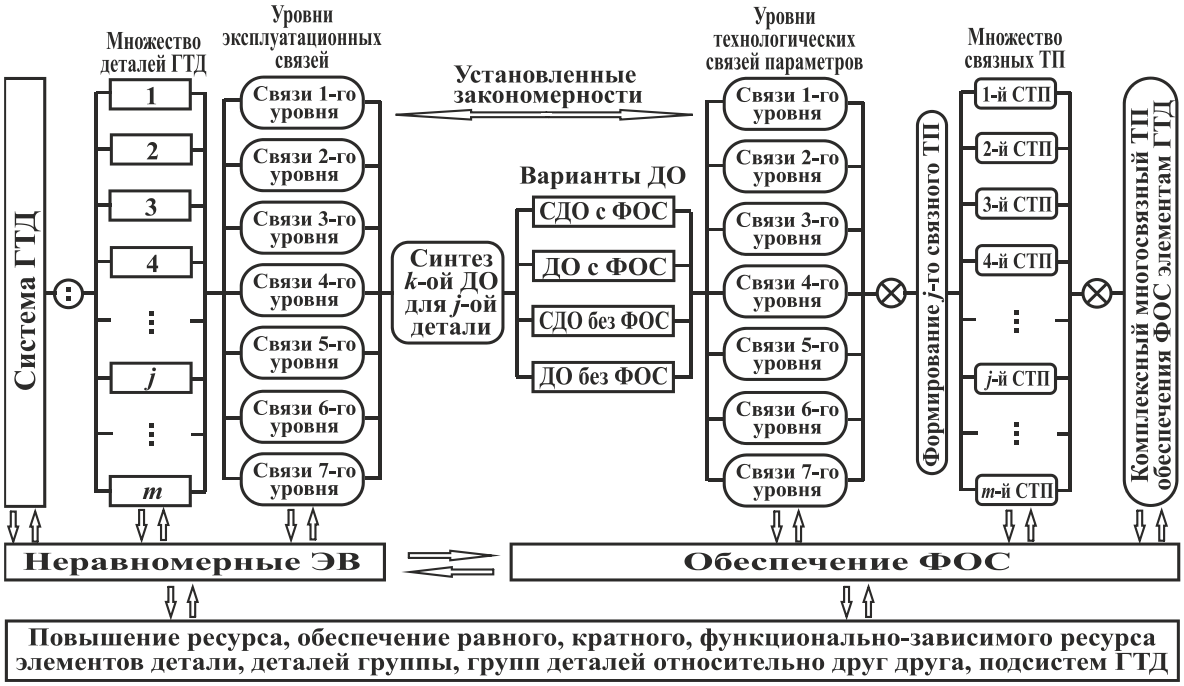


Рис. 13. Схема синтеза комплексного многосвязного ТП обеспечения ФОС элементам ГТД

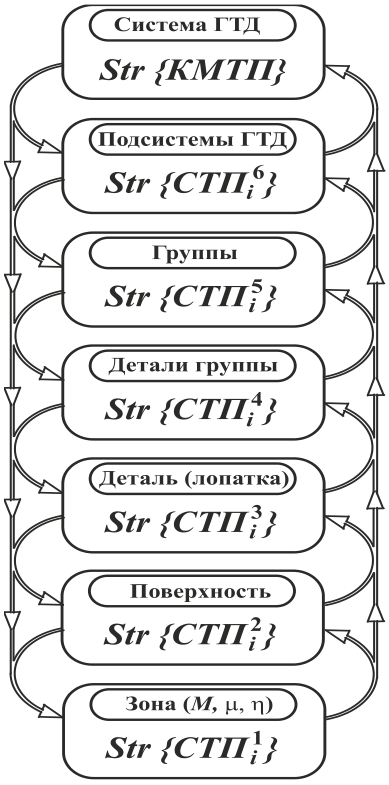


Рис. 14. Закономерности связей уровней структур технологических процессов реализации КМТП формирования ФОС элементов ГТД

Таким образом, представленные материалы позволяют создавать структуру комплексного многосвязного ТП обеспечения ФОС элементов и подсистем ГТД. Это повышает ресурс, обеспечивает равный, кратный, функционально-зависимый ресурс всех составляющих авиационного двигателя.

5. Особенности обеспечения ФОС структурных элементов ГТД

Можно отметить, что ФОС лопаток ГТД можно обеспечивать различными методами. При этом к основным из них можно отнести следующие методы:

- механические методы,
-термические методы,
- физические методы,
- химические методы,
- ультразвуковые, вибрационные и акустические методы,
- комбинированные методы обработки.

Одним из эффективных вариантов обеспечения ФОС лопаток ГТД является реализация многослойных функционально-ориентированных покрытий (ФОП) [8, 9] с пространственным контуром границ (ПКГ) каждого *i*-го слоя покрытия. Для лопатки наносится *n* слоев ФОП с *n* ПКГ каждого слоя. Для реализации ФОП лопаток ГТД предложен специальный способ, на который получен патент [10]. Предложенный способ реализуется следующим образом.

Можно отметить, что структура технологического процесса это совокупность отдельных операций, которые связаны между собой определенными закономерностями и предназначены для обеспечения заданных параметров

качества, функционально-ориентированных свойств, эффективности и других параметров процесса. Также следует иметь в виду, что для обеспечения свойств лопаток в работе выполняется на базе многослойных ФОП, которые формируются их слоев, каждый из которых имеет определенные параметры, а именно: пространственный контур гра

Рис. 15. Гипотетическая схема многослойного ФОП с ПКГ слоев лопатки компрессора ГТД

ниц (ПКГ), физико-механические свойства, толщину, количество слоев. Все эти параметры определяются особенностями абразивно-эрозионного износа покрытия при эксплуатации на базе функционально-ориентированного подхода [4] и разработанного нового способа реализации ФОП [10]. В этом случае, для реализации каждого слоя ФОП строится свой конкретный технологический процесс, при этом для n слоев ФОП строится n отдельных технологических процессов (рис. 16 и рис. 17), связанных между собой установленными закономерностями [7]. На основании этого, технологические процессы реализации ФОП в работе называются – связными.

Можно отметить, что синтез структуры технологического процесса это соединение различных операций в единый процесс для выполнения заданных технологических воздействий орудий и средств обработки на изделие для обеспечения требуемых его свойств. В данном случае, в работе выполняется синтез многосвязного технологического процесса формирования ФОП лопаток компрессора ГТД.

На рис. 16 и рис. 17 представлена развернутая структура многосвязного технологического процесса напыления ФОП лопаток компрессора u_s –ой ступени s-ой группы лопаток компрессора.

Можно отметить, что структура этого многосвязного технологического процесса формируется n технологических процессов реализации слоев ФОП. Здесь, введены следующие обозначения: $(V_{u_s i} + V_{u\, i\, н})$ - входные параметры i-го процесса напыления i-го слоя ФОП, здесь, $V_{u_s i}$ - входные эксплуатационные параметры, $V_{u\, i\, н}$ - входные начальные параметры процесса; $W_{u_s i}$ - выходные параметры i-го процесса напыления i-го слоя ФОП; a_{km} – направление перехода от операции k к операции m ; $ПКГ_i$ – пространственный контур границ i-го слоя ФОП; h_i – толщина i-го слоя ФОП; μ_i – интенсивность износа i-го слоя ФОП; n – количество структур технологических процессов напыления n слоев ФОП.

При этом структура 1-го технологического процесса для напыления 1-го слоя ФОП будет иметь следующие технологические операции:

1.1. Ультразвуковая очистка, обезжиривание, установка защитных экранов на лопатки для обеспечения заданных параметров ПКГ 1-го слоя покрытия.

1.2. Загрузка лопаток в вакуумную камеру. Для повышения производительности напыления покрытий необходимо применение специального приспособления с высокой концентрацией рабочих позиций.

1.3. Очитка лопаток компрессора в тлеющем разряде.

1.4. Насыщение поверхностного слоя лопаток газами. Для лопаток компрессора выполняется азотирование. Эта операция необязательная и может не выполняться.

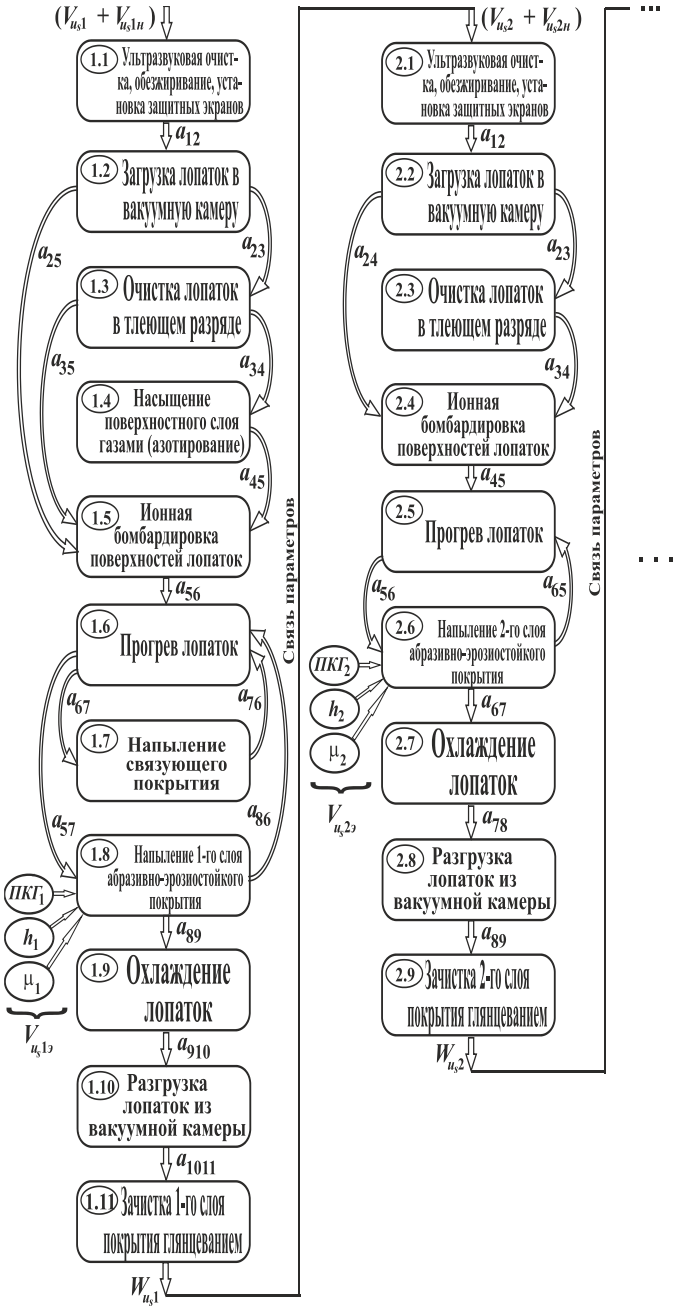


Рис. 16. Развернутая структура многосвязного технологического процесса напыления ФОП лопаток компрессора u_s –ой ступени s-ой группы лопаток компрессора

1.5. Ионная бомбардировка поверхностей лопаток, выполняется для очистки поверхностей лопаток от загрязнений, окислов, нитридов и других пленок.

1.6. Прогрев лопаток.

1.7. Напыление связующего покрытия. Связующее покрытие наносится перед напылением нитрид титанового покрытия.

1.8. Напыление 1-го слоя абразивно-эрозионного ФОП. В этом случае, выполняется напыление различных вариантов покрытия. В данной работе выполняется напыление следующих покрытий: TiN, TiN_2 , (Ti, Al)N, (Ti, Zr)N другие варианты покрытий. Здесь следует отметить, что данный слой покрытия имеет следующие параметры:

- $ПКГ_1$ – пространственный контур границ 1-го слоя покрытия, задается защитным экраном;
- h_1 – толщина 1-го слоя покрытия, задается временем напыления в вакуумной камере установки;
- μ_1 – интенсивность износа 1-го слоя ФОП, задается применением того или иного варианта покрытия, определяется по результатам эксплуатационного износа покрытия в ГТД.

1.9. Охлаждение лопаток в вакуумной камере установки ННВ 6,6 – И1, длительность охлаждения составляет 30 – 45 минут и зависит от степени концентрации лопаток в установке.

1.10. Разгрузка лопаток из вакуумной камеры.

1.11. Зачистка 1-го слоя покрытия глянцеванием. Эта операция выполняется перед напылением следующего слоя покрытия. При этом также осуществляется очистка поверхности лопатки от загрязнений, пленок окислов, нитридов и других пленок.

Структура последующих технологических процессов имеет следующий алгоритм:

i.1. Ультразвуковая очистка, обезжиривание, установка защитных экранов на лопатки для обеспечения заданных параметров ПКГ i-го слоя покрытия.

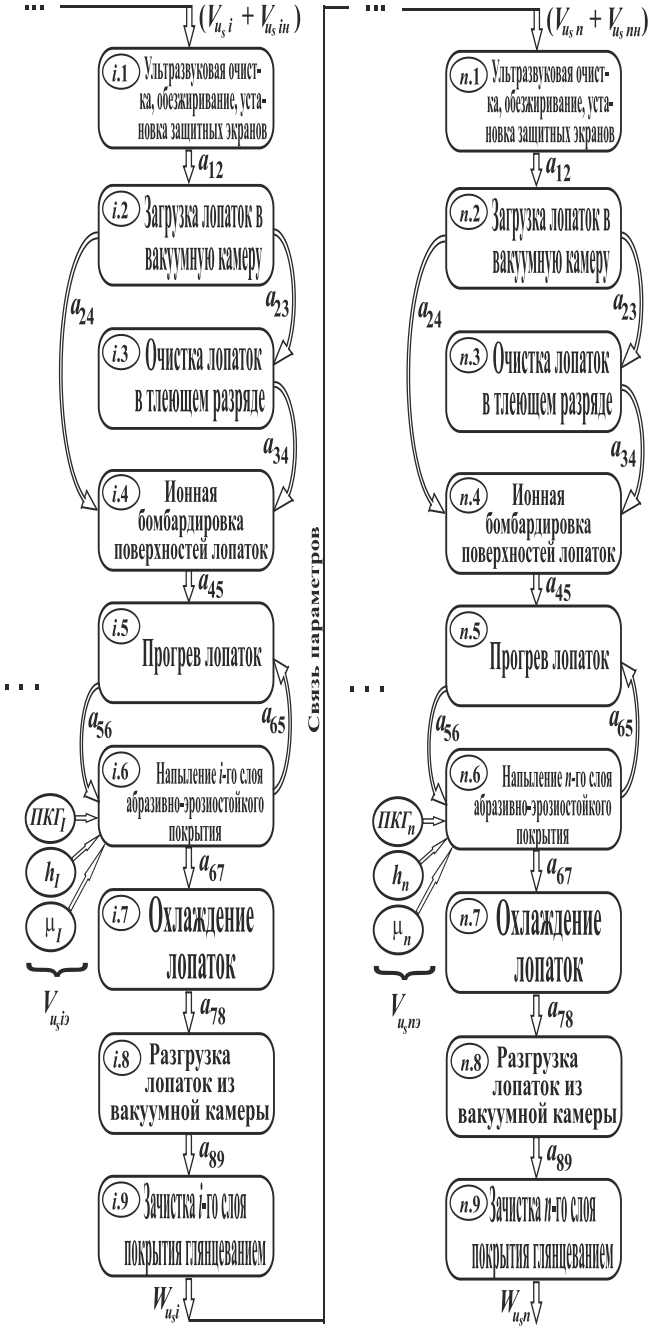


Рис. 17. Продолжение рис. 16

i.2. Загрузка лопаток в вакуумную камеру. Для повышения производительности напыления покрытий необходимо применение специального приспособления с высокой концентрацией рабочих позиций.

i.3. Очитка лопаток компрессора в тлеющем разряде.

i.4. Ионная бомбардировка поверхностей лопаток, выполняется для очистки поверхностей лопаток от загрязнений, окислов, нитридов и других пленок.

i.5. Прогрев лопаток.

i.6. Напыление *i*-го слоя абразивно-эрозионного ФОП. В этом случае, выполняется напыление различных вариантов покрытия. В данной работе выполняется напыление следующих покрытий: TiN, TiN_2 , (Ti, Al)N, (Ti, Zr)N другие варианты покрытий. Здесь следует отметить, что данный слой покрытия имеет следующие параметры:

- $ПКГ_i$ – пространственный контур границ *i*-го слоя покрытия, задается защитным экраном;

- h_i – толщина *i* -го слоя покрытия, задается временем напыления в вакуумной камере установки;

- μ_i – интенсивность износа *i* -го слоя ФОП, задается применением того или иного варианта покрытия, определяется по результатам эксплуатационного износа покрытия в ГТД.

i.7. Охлаждение лопаток в вакуумной камере установки ННВ 6,6 – И1, длительность охлаждения составляет 30 – 45 минут и зависит от степени концентрации лопаток в установке.

i.8. Разгрузка лопаток из вакуумной камеры.

i.9. Зачистка *i* -го слоя покрытия глянцеванием. Эта операция выполняется перед напылением следующего слоя покрытия. При этом также осуществляется очистка поверхности лопатки от загрязнений, пленок окислов, нитридов и других пленок.

Следует отметить, что в отличие от 1-го технологического процесса напыления 1-го слоя ФОП в последующих процессах отсутствуют следующие операции:

- насыщение поверхностного слоя газами (азотирование);

- напыление связующего покрытия.

При этом в последнем технологическом процессе для напыления *n*-го слоя покрытия не нужно выполнять очитку поверхностей от окислов, нитридов и других пленок.

Можно отметить, что для *n* слоев формируется *n* технологических процессов. Между технологическими процессами установлены связи на основании выражений системы [7].

Если напыляемые слоя покрытий имеют одинаковую толщину, то общее количество слоев покрытия находится в функциональной зависимости от интенсивности износа лопатки в группе и номера ступени лопатки, и определяется по следующей формуле:

$$n_i = \frac{T_o \, \mu_i}{h_1}, \qquad (2)$$

где n_i – количество слоев покрытий на *i*-ой лопатки; μ_i – интенсивность износа покрытия на *i*-ой лопатки; h_1 – толщина любого слоя покрытия, в этом случае принимается одинаковая толщина слоя покрытия; T_o – назначенный ресурс ГТД.

Также следует отметить, что в соответствии с выражением работы [7] можно определять параметры толщин покрытий и их количество для различных групп и ступеней лопаток компрессора.

Представленная структура многосвязного технологического процесса напыления ФОП лопаток компрессора позволяет решать вопросы напыления многослойного ФОП в зависимости от следующих параметров: пространственного контура границ *i*-го слоя покрытия; толщины *i* -го слоя покрытия; интенсивности износа *i* -го слоя ФОП; количества слоев покрытий. Приведенный алгоритм формирования многослойного покрытия позволяет обеспечивать ФОП для любой ступени группы лопаток компрессора ГТД с учетом связей [7].

6. Заключение

В представленной работе рассмотрены вопросы повышения технико-экономических показателей эксплуатации ГТД за счет обеспечения равного, кратного или функционально-зависимого ресурса его структурных элементов с формированием ФОС посредством комплексного многосвязного ТП, создаваемого на основе закономерностей и установленных связей между параметрами их эксплуатации и технологического обеспечения.

Выполненные исследования позволили получить следующие результаты:

1. Проведенный анализ структуры авиационного двигателя и особенностей эксплуатации его элементов и подсистем позволил установить основные особенности эксплуатации структурных элементов ГТД. Эти особенности обусловлены действием неравномерностями ЭВ, которые можно описывать иерархической структурой 7-ми родов.

2. В представленной работе предложены метод и принципы повышения технико-экономических показателей эксплуатации ГТД. Обеспечение ФОС элементов и подсистем ГТД и разработанные принципы позволяют следующее:

- обеспечивать свойства элементов и подсистем структуры ГТД на основе связей параметров путем реализации комплексного многосвязного ТП;
- обеспечивают повышение ресурса и технико-экономических параметров;
- обеспечивают равный, кратный или функционально-зависимый ресурс элементов и подсистем структуры ГТД;
- адаптируют свойства элементов и подсистем структуры ГТД к особенностям их эксплуатации;
- обеспечивается возможность регулировки или управления эксплуатационными свойствами элементов и подсистем структуры ГТД на этапе технологического обеспечения их свойств;

- повышается ремонтопригодность деталей элементов и подсистем структуры ГТД, обеспечивается возможность многократного восстановления эксплуатационных свойств деталей при ремонтах;

- повышается эксплуатационный потенциал элементов и подсистем ГТД.

3. В работе разработан общий подход синтеза комплексного многосвязного ТП обеспечения ФОС ГТД. Этот подход позволяет синтезировать комплексный многосвязный ТП обеспечения ФОС из условия равного, кратного или функционально-зависимого ресурса элементов и подсистем ГТД. Разработанный подход решает вопросы повышения ресурса, обеспечения заданного, требуемого или предельного ресурса ГТД.

4. Выполненный анализ особенностей синтеза комплексного ТП обеспечения ФОС позволил выполнить синтез конкретного варианта процесса с реализацией свойств на базе ФОП.

Список литературы: **1**. Григорьев, В. А. Вертолетные газотурбинные двигатели. / В. А. Григорьев, В. А. Зрелов, Ю. М. Игнаткин и [др.]. – М.: Машиностроение, 2007. – 491 с. **2.** Демин, Ф. И. Технология изготовления основных деталей газотурбинных двигателей / Ф. И. Демин, Н. Д. Проничев, И. Л. Шитарев. – М.: Машиностроение, 2002. – 328 с. **3**. Богуслаев, В. А. Отделочно-упрочняющая обработка деталей ГТД. / В. А. Богуслаев, В. К. Яценко, П. Д. Жеманюк и [др.]. – Запорожье: Мотор Сич, 2005. -559 с. **4.** Михайлов, А. Н. Основы синтеза функционально-ориентированных технологий машиностроения. – Донецк: ДонНТУ, 2009. – 346 с. **5.** Михайлов, Д. А. Основные особенности эксплуатации лопаток компрессора ГТД и классификация их эксплуатационных функций / Прогрессивные технологии и системы машиностроения: Международный сб. научных трудов. – Донецк: ДонНТУ, 2015. - Вып. 4 (50). С. 126 - 131. **6.** Михайлов, Д. А. Общий подход в обеспечении функционально-ориентированных свойств лопаток компрессора ГТД на базе принципа единовременного полного износа покрытия / Д. А. Михайлов, А. В. Хандожко, Е. А. Шейко, А. Н. Михайлов // Прогрессивные технологии и системы машиностроения: Международный сб. научных трудов. – Донецк: ДонНТУ, 2015. - Вып. 4 (50). - С. 132 - 139. **7.** Михайлов, А. Н. Структурный синтез комплексного многосвязного технологического процесса обработки лопаток компрессора газотурбинных двигателей с функционально-ориентированными покрытиями / А. Н. Михайлов, Д. А. Михайлов, Е. А. Шейко, В. А. Михайлов // Наукоемкие технологии в машиностроении. – Брянск: БГТУ, 2020. - № 1 (103). – С. 40-48. https://doi.org/10.30987/2223-4608-2020-2020-1-40-48. **8.** Пичко, А. П. Эксплуатационные особенности газотурбинных установок нефтегазовой промышленности и общий подход в повышении их свойств / А. А. Пичко, В. А. Михайлов, Д. А. Михайлов и [др.] // Прогрессивные технологии и системы машиностроения: Международный сб. научных трудов. – Донецк: ДонНТУ, 2018. - Вып. 3 (62). - С. 47 - 54. **9.** Михайлов, Д. А. Методика и алгоритм синтеза технологического обеспечения комплексного повышения ресурса лопаток турбокомпрессора газотурбинной установки / Д. А. Михайлов, А. А. Пичко, Е. А. Шейко, А. Н. Михайлов // Прогрессивные технологии и системы машиностроения: Международный сб. научных трудов. – Донецк: ДонНТУ, 2019. - Вып. 2 (65). - С. 16 - 25. **10.** Патент № 2718877 RU. C23C 14/04. Способ нанесения функционально-ориентированного износостойкого покрытия на лопатку газотурбинного двигателя / А. Н. Михайлов, Д. А. Михайлов, В. А. Михайлов, Е. А. Шейко, А. П. Пичко, Н. С. Пичко, В. И. Сухарев. Заявка № 2018107164 от 26.02.2018. – Бюл. № 11, 15.04.2020. – 7 с.

КОМПЛЕКСНЫЙ АНАЛИЗ КОРРОЗИОННОЙ СТОЙКОСТИ Ni-Cr-Mo СПЛАВА ФОТОМЕТРИЧЕСКИМ МЕТОДОМ

Михайлов Д.Л., Ермишкин В.А., Минина Н.А.
(ИМЕТРАН, Москва, РоссияТел./факс: +7(499)1359668/+7(499) 1358680
eva@imet.ac.ru; minina1951@rambler.ru

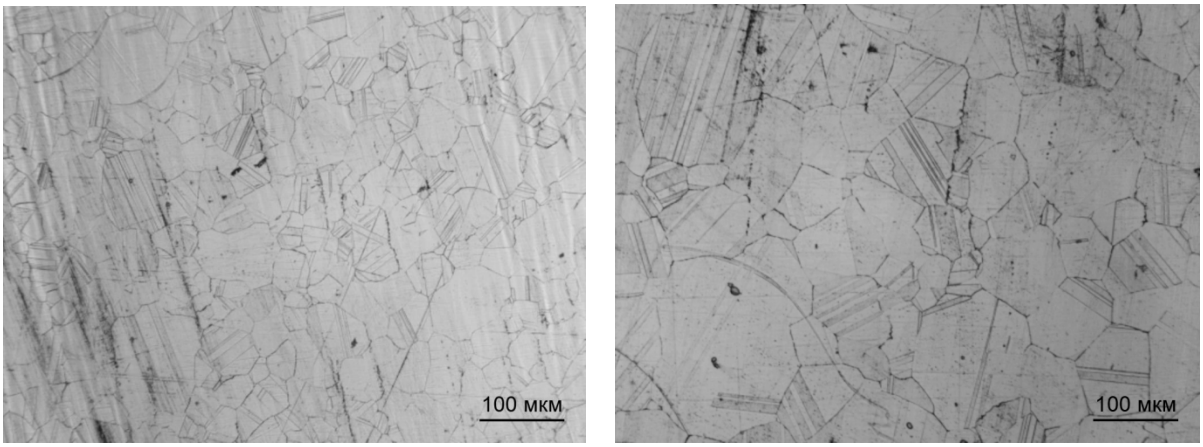
Abstract: *This report reflects the development of a domestic heat-resistant corrosion-resistant alloy based on the Ni-Cr-Mo system designed to replace the G-35 alloy (USA) in the production of chemical reactors for the synthesis of transition metal chloride melts used in nuclear energy. It also discusses the results of a preliminary assessment of its corrosion resistance in two structural states in comparison with a foreign counterpart.*
Key words: *alloy, heat-resistant, corrosion-resistant, alloying elements, trials.*

К современным конструкционным материалам, предназначенным для изготовления оборудования металлургического производства переходных металлов, предъявляются высокие требования, обусловленные сложными условиями их работы. Кроме высокой прочности при повышенных температурах они должны обладать высокими технологическими свойствами, призванными обеспечить элементы конструкций химических реакторов для обработки расплавов руд переходных металлов. При этом эти материалы должны обладать высокой коррозионной стойкостью в интервале температур 600 - 700^{o}C. В настоящее время такие конструкционные материалы создаются на основе сплавов системы Ni-Cr-Mo с микродобавками ряда химических элементов. Отечественных сплавов, призванных закрыть потребность в импортных сплавов, с требуемым комплексом свойств, не существует. В связи с этим целью настоящей работы явилась разработка отечественного сплава для использования в качестве конструкционного жаропрочного коррозионно-стойкого материала для химических реакторов, в которых осуществляется синтез хлоридов химических элементов, служащих основой сплавов, применяемых в атомной энергетике. Михайлов Д.Л. работал химический состав отечественного сплава - аналога американского сплава G-35, провел исследования, необходимые для его патентования Без восстановления независимости в области развития металлургических технологий и внедрения их в производство материалов прогресс этих отраслей невозможен. При финансовой поддержке ООО «Промдеталь» в ВИАМе в соответствии с техническим заданием авторского коллектива и с учетом его технологических рекомендаций был выплавлен слиток этого сплава весом 7,5 кг, разработана технология выплавки, обработки и передела его в лист толщиной 7±1 мм. На всех стадиях получения листа были проведены исследования химического состава сплава и его физических свойств, включая их свариваемость и коррозионную стойкость. Корректность сопоставления разработанного сплава с импортным, для замены которого он создан, была обеспечена благодаря проведению исследований их структуры и свойств в одинаковых условиях с применением одних и тех же методик. С учетом небольшого количества исследуемых материалов и ограниченности времени для получения убедительных результатов, достаточных для их полноценного сравнения, были выбраны эффективные методы оценки структуры и свойств по одинаковым критериям. В этих же целях были использованы методики оценки механических, теплофизических, диффузионных и коррозионных характеристик сравниваемых сплавов по данным фотометрического анализа структурных изображений (ФАСИ), разработанного в авторском коллективе и ранее успешно использованного для решения аналогичных задач. Существенным преимуществом разработанного сплава перед его зарубежным аналогом является то, что технологический цикл его производства осуществим на современном отечественном металлургическом оборудовании, в то время как развернуть производство сплава G-35 на нем без значительных капитальных затрат на переоборудование невозможно. Для обеспечения сопоставимости разработанного

сплава с импортируемым американским сплавом G-35 было проведены исследования по одним и тем же методикам обоих сплавов. Оба сплава созданы на основе системы Ni-Cr-Mo. Результаты сопоставления сплавов выглядит следующим образом: Сплав G-35 (США) %. масс: Ni -57,31; Cr-32,95; Mo - 8,06; Al - 0,22; Fe -1,22; Mn - 0,22; C - 0,08; B - 0,002; Si - 0,16; S - <0,002; P - <0,003;Сплав ИМЕТ: N i- 60,2; Cr - 29,6; Mo - 8,75; Al - 0,21; Fe - 0,011; Mn - 0,0033; C -0,0025; La - 0,0012.

Из сравнения составов видно, что в сплаве ИМЕТа откорректировано содержание никеля в сторону увеличения для повышения пластичности, содержание хрома снижено, а молибдена повышено практически без снижения прочности. В сплаве G-35 методом ФАСИ был обнаружен бор в количестве 0,002%, который не был указан в сертификате, был замене на лантан в количестве 0,002% для снижения концентрации примесей внедрения на границах зерен. В процессе плавки его содержание упало до 0,0012%. Процесс выплавки сплава, включающий в себя вакуумирование индукционной печи, заполнение ее аргоном, предварительный прогрев чистой шихты в индукционной печи в атмосфере аргона для предотвращения испарения хрома при Т = 850 - 900^{o}С в течение 20-30 мин., разогрев до Т = 1540 ± 10^{o}С, выдержка в течение 10 - 12 мин., снижение температуры до 1490 ± 10^{o}С, введение в расплав лигатуры никель-лантан, перемешивание, откачка аргона и охлаждение с печью в течение 6 - 8 часов, обеспечивает получение слитка с химическим составом, удовлетворяющим требованиям технического задания. Разработана технология изготовления из выплавленного слитка листового материала в количестве 7 ± 0,25 кг по трем вариантам технологий: 1) П+К, включающая предварительный подогрев в печи, разогретый до Т = 1140 ± 10^{o}С литого слитка, за которым следует ковка в прессе 1600тс со штампами, нагретыми до Т = 950^{o}С в индукционном устройстве. Осадка в торец слитка выполняется на 30 - 40% с последующей всесторонней ковкой слитка на сутунку. Далее поковка подвергалась прокатке на прокатном стане «Шмитц» со степенью деформации за проход от 10 до 15% и от 30 до 50% за нагрев. Прокатка заканчивалась при температуре не ниже 950^{o}С. Лист получали в результате выполнения трех циклов прокатки, которые чередовались с нагревами до Т = 1150^{o}С. На первом цикле толщина листа доводилась с 40 мм до толщины 25 ± 2 мм; на втором - после кантовки на 90^{o}, прокатка до толщины 15 ± 2 мм; на третьем также после кантовки на 90^{o} прокатка продольная листов до толщины 6,0 ± 1,0 мм. Структурные исследования показали наличие текстуры в направлении прокатки. Микроструктура преимущественно мелкозернистая (размер зерна менее 10 мкм), но присутствуют отдельные зерна до 20 мкм), обнаружены строчечные выделения, по всей видимости, вторичной фазы в направлении прокатки 2) К+ПП включала в себя предварительный разогрев в печи, нагретой до температуры 1140 ± 10°С. Ковка слитка выполнялась на прессе 1600 тс со штампами, нагретыми до температуры 950°С индукционной установкой, установленной на прессе, по следующей технологической схеме: осадка и протяжка слитка со степенью деформации от 30 до 40%; механическая обработка сутунки. Слиток разделывали в лист в три приема. Прокатку проводили на прокатном стане «Шмитц» со степенью деформации за проход от 10 до 15% и от 30 до 50% за нагрев. Температуру прокатки не опускали ниже 950°С. На первом этапе прокатки сутунка доводилась с толщины 40 мм до толщины 25 ± 2 мм. Между этапами выполнения прокатки проводился разогрев до температуры 1140 ± 10°С. На втором и третьем этапах выполнения прокатки лист доводили последовательно до толщины 15 ± 2 мм и окончательно до толщины 15 ± 2 мм. Исследования микроструктуры по режиму без всесторонней ковки показали наличие текстуры в направлении прокатки. Микроструктура преимущественно мелкозернистая (размер зерна менее 10 мкм), но присутствуют отдельные зерна до 50 мкм. Также присутствуют строчечные выделения, по всей видимости, вторичной фазы в направлении прокатки. 3) П. По этому варианту горячая прокатка проводилась в литом состоянии на прокатном стане «Щмитц» со степенью деформации за проход до 10 % и 40 % за нагрев. Температура конца прокатки

не ниже 950°С. На первом этапе получали лист толщиной 25±2 мм из катанной заготовки толщиной 40 мм. На следующем этапе прокаткой лист толщиной 25 ± 2 мм был доведен до толщины 15 ± 2 мм, а на заключительном этапе лист доводится до толщины 6,0 ± 1,0 мм. Между каждым этапом проведения прокатки заготовки нагревались до Т = 1140 ± 10°С и кантовка на 90°С. Исследования микроструктуры по режиму без всесторонней ковки показали наличие текстуры в направлении прокатки. Микроструктура преимущественно мелкозернистая (размер зерна менее 10 мкм), но присутствуют отельные зерна до 50 мкм. Также присутствуют строчечные выделения, по всей видимости, вторичной фазы в направлении прокатки. После завершения прокатки лист механически очищали от окалины и шлифовались. На рис. 1 показаны типичные микроструктуры разработанного сплава, сформированные обработкой по двум разным технологиям: К+ПП (а) и К+П (б).



а) б)

Рис. 1. Микроструктуры разработанного сплава (ИМЕТ)

Основные характеристики образцов исследованных сплавов, включая режимы их термообработок, химические составы и результаты испытаний на межкристаллитную коррозию, приведены в таблицах 1, 2, 3. Результаты испытаний на межкристаллитную коррозию (МКК) позволили выявить основные факторы, которые влияют на скорость межкристаллитной коррозии. В их числе оказались: размеры зерен (диаметры) - d, время – t, температура -Т термообработки, твердость - Н, энергия активация - Q, процессов, контролирующих диффузию легирующих элементов сплавов. Анализ размерности этих факторов позволил получить определяющее соотношение для скорости коррозии в виде:

$$V = A \cdot R^{\alpha} \cdot d^{\beta} \cdot H^{\gamma} \cdot t^{\delta} \cdot T^{\omega} \cdot Q^{\varphi} \quad (1)$$

где имеем: для размерности [мм] 1= β – γ, для размерности [мин]: -1 = δ; для размерности [дж] 0= α + φ; для размерности [К] 0 = -α + ω – φ; для размерности [моль]: 0= -α – φ; для размерности [н] γ = 0; для размерности [дж/мольК] α - φ-ω =0; из вышеприведенного следует, что для β=1; δ = -1; α = φ; γ = 0; ω = 0. С учетом полученных результатов уравнение (1) можно представить, как (2)

$$V = A \cdot d^{\beta} \cdot t^{\delta} \cdot \exp(Q/RT) \quad (2)$$

Степень влияния выделенных факторов на скорость коррозии оценивали с помощью коэффициента корреляции (С), определяли по формуле:

$$C = \frac{\sum_1^3 (x_i \bar{x}) \cdot (y_i - \bar{y})}{\sqrt{(x - \bar{x}_i)^2 \cdot (y_i - \bar{y})^2}} \quad (3)$$

где: x_i, y_i - значения сравниваемых переменных, $\bar{x}, \bar{y}$- средние значения переменных. Оценки коэффициентов корреляции между V и d и между V и Н оказались равными 0,9960 и 0,6665 соответственно. Коэффициент корреляции С = 0,9960 свидетельствует о

возможности аналитического описания зависимости V = f(d). Для этого мы воспользовались методом наименьших квадратов. Найденное уравнение имело вид:

$$V = - 0{,}00093d + 0{,}2293 \quad (4)$$

На рис .2 показан график этой зависимости, построенный по экспериментальным точкам (◊). На этот график нанесены расчетные точки, вычисленные по уравнению (□). График построен по данным, относящимся к разным сплавам с разным структурным состоянием. Это обстоятельство свидетельствует, что закономерности, описывающие скорость коррозии от размера зерен, слабее зависят от малых изменений в химическом составе сплавов и степени деформационного упрочнения зерен, Таким образом, в зависимость V = f(d) для близких по составу сплавов носит линейный характер.

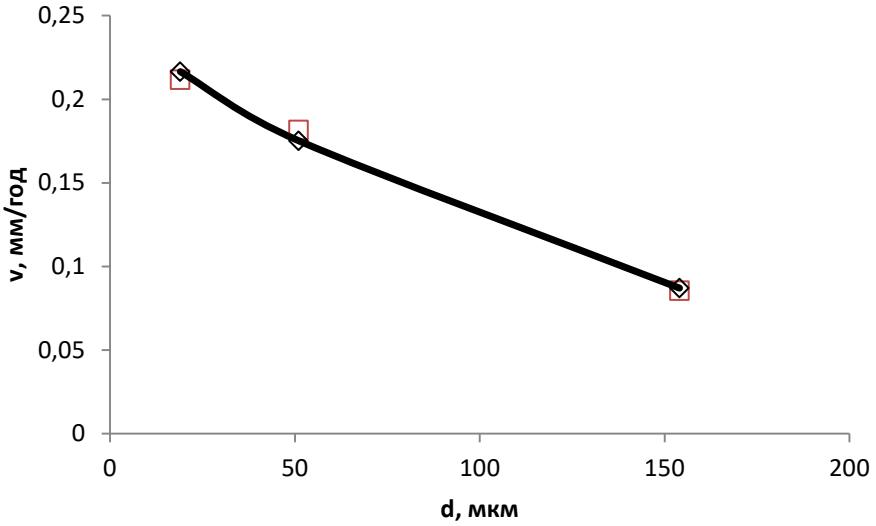


Рис. 2. Зависимость скорости коррозии от размера зерна

Таблица1. Сводная таблица характеристик образцов для коррозионных испытаний

Образец №1 («ВИАМ»)	Образец №4(«ВИАМ»)	Образец №7 («HAYNES»)
320НВ, сплав «Раствор-Н», после горячей деформации. ТО нет. Факта твердого раствора на 100% нет. (75%), определен ФАСИ В наличие двойники. Балл зерна 8-7-6, разнозернистость, средний балл 19 микрон	302НВ, сплав «Раствор-Н», после горячей деформации. ТО нет. Факта твердого раствора на 100% нет. (75%), определен ФАСИ В наличие двойники. Балл зерна 5-4-3, разнозернистость, средний бал 51 микрон	223НВ, сплав G-35 (США), твердость в состоянии поставки, сплав в состоянии твердого раствора, материал после ТО и прокатного стана. В наличие двойники. Балл зерна 4-3

Таблица 2. Химический состав главных легирующих элементов исследуемых сплавов

Образец	**Cr**	**Fe**	**Ni**	**Mo**
Образец №4	28,18	0,95	61,69	9,19
Образец №4	27,73	1,06	62,01	9,21
Образец №4	27,86	1,11	61,75	9,27
Образец №4	28,17	0,95	61,71	9,17
	27,985	1,0175	61,79	9,21
Образец № 1	27,75	0,56	62,42	9,28
Образец № 1	27,66	0,55	62,51	9,29
Образец № 1	27,68	0,54	62,48	9,30
Образец № 1	27,65	0,50	62,68	9,27

3. Справка об испытаниях металлических материалов - сплавов на стойкость к МКК

	Образец №1 (К+П), переплав	Образец №4 (К+П)	Образец №7 (USA)
1. Обозначение (марка) сплава, химический состав	«Раствор-Н» Х28Мо9Н	«Раствор-Н» Х28Мо9Н	G-35 Х33Мо8Н
2. Сортамент (прокат, размер), плоские образцы	Лист, 80х20х5 мм	Лист, 80х20х5 мм	Лист, 80х20х5 мм
3. Исходное состояние после ТО, твердость (для образца №№1,4 термическую обработку с 2-х раз, с 2 шагов)	Проведена ТО, 2 шага, 1 шаг: (закалка на твердый раствор) - 1120 гр.Ц. /20мин-156НВ охл. воздух 2 шаг: (закалка на твердый раствор) 1120/15мин, °С. охл. воздух), 167НВ	Проведена ТО, 2 шага, 1 шаг: 1050 гр.Ц. /20мин-165НВ охл. воздух 2 шаг: (закалка на твердый раствор) - 1135, °С /20 мин. охл. воздух) - 177НВ	Проведена ТО, 1 шаг, закалка на твердый раствор (15 мин, 1120 °С , охл. воздух, 163НВ
4. Финишное состояние, после провоцирующего нагрева, твердость	800°С, 30 мин., охл. воздух 203НВ Мягче - зерно крупное	800°С, 30 мин., охл. воздух 208НВ Тверже – зерно мелкое	800°С, 30 мин., охл. воздух199НВ
5. Испытание на МКК, метод	РД24.200.15-90, 2 метод	РД24.200.15-90, 2 метод	РД24.200.15-90, 2 метод
6. Результаты испытаний	Сплав стоек к МКК	Сплав стоек к МКК	Сплав стоек к МКК
7. Скорость межкристаллитной коррозии (границ)	0,2165 мм/год	0,1752 мм/год	0,08707 мм/год

Работа выполнялась по государственному заданию № 075-00-947-20-00 и при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант № 17-08-00098а).

ВЫВОДЫ:

1. В результате проведенных исследований разработан отечественный жаропрочный коррозионно-стойкий сплав близкий по свойствам к сплаву G-35
2. Среди факторов, контролирующих скорость коррозии, наибольшее влияние оказывает размер зерна. При этом увеличение размеров зерен приводит к уменьшению скорости коррозии.
3. Зависимость (4), по видимому, чувствительна к строению границ и от разброса зерен по размерам: $V = f(d)$ $V = f(d)$

СТАТИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ОТКАЗОВ СИСТЕМ АВТОБУСОВ МАЗ И ФАКТИЧЕСКОГО РЕСУРСА ЕГО ШАРОВЫХ ШАРНИРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

Михайлов А.Н., Стрельник Ю.Н., Навка И.П., Лукичев А.В., Матвиенко С.А.
(Донецкий национальный технический университет, г. Донецк, ДНР)
Тел. +38 (071) 3076221; E-mail: yura-strelnik@yandex.ru ,a_lukichov@mail.ru

Abstract: *The article discusses the possible failures of MAZ buses during operation and their causes. Based on the results of reliability studies of the main components and assemblies of the MAZ bus, statistical data on their operational reliability are collected. The causes of failure of the ball joints are established and ways to solve this problem are outlined.*
Key words: *Reliability, failure, resource, wear, ball joint.*

Введение. К наиболее ответственным системам автотранспортных средств (АТС) относится рулевое управление. По статистике [1] до 15% ДТП связанных с отказами систем АТС связаны с неисправностями рулевого управления, в том числе и шаровых шарниров.

На сегодняшний момент исследователи при изучении сферических подшипников скольжения АТС рассматривают преимущественно шаровые опоры легковых автомобилей. Однако свойства этих опор нельзя непосредственно распространять на более нагруженные шаровые опоры грузовых АТС. Также недостаточно внимания уделено изучению износа наконечников рулевых тяг, в том числе автобусов МАЗ, которые широко применяются для городских перевозок пассажиров.

Предельное состояние шарового шарнира определяется по величине зазора в сопряжении палец-корпус, который по ГОСТ Р 52433-2005 «Шарниры шаровые» не должен превышать 0,7 мм. При рассмотрении зазора шарового шарнира увеличивающего в процессе его эксплуатации, как правило, рассматривается износ вкладыша, а изменению технического состояния поверхностного слоя сферической части головки шарового пальца уделяется мало внимания. Следовательно, толщина модифицированного поверхностного слоя с требуемыми триботехническими свойствами может и должна находиться в пределах допускаемого износа.

Практически все рулевые наконечники имеют однотипную конструкцию, различаясь преимущественно размерами и материалами, из которых изготавливаются их составные элементы. Реальный средний срок служб рулевых наконечников, составляет 30 000 — 40 000 километров пробега, хотя по регламенту наконечники необходимо менять на пробегах от 50000 - 60000 километров. Основной неисправностью рулевого наконечника считается износ шарнирного соединения [1, 2, 3]. А в целом, отказы, приходящиеся на шаровые шарниры, превышают 30 % от общего числа отказов передней подвески легкового автомобиля

Неисправности рулевого управления составляют 10 - 15% от общего числа отказов АТС, которые приводят к аварийным состояниям при эксплуатации [2, 3]. Рулевое управление не является основным фактором, лимитирующим работоспособность машины, но при этом оказывает существенное влияние на эксплуатационную надежность транспортного средства, а главное – на безопасность движения. Любые зазоры в шаровых шарнирах, вызванные износом, увеличивают время реакции АТС на изменяющуюся дорожную обстановку.

Цель работы – статистические исследования отказов ответственных узлов и агрегатов автобусов МАЗ.

Основная часть. В процессе регистрации неисправностей транспортных средств на АТП г. Донецка установлено распределение отказов по системам и агрегатам автобусов МАЗ при пробеге до 150 000 км (табл. 1).

Таблица 1. Распределение основных видов отказов по системам и агрегатам автобуса МАЗ

Агрегаты и системы	Удельный вес, %	
	отказов	трудоёмкости устранения отказов
Двигатель и его системы	4,8	10,0
Сцепление	1,2	3,0
Задний мост	1,4	4,5
Рулевое управление	1,6	2,5
Передняя подвеска	31	40,0
Задняя подвеска	16	20,0
Тормозная система	20	2,5
Колёса (без учёта шин)	4,0	2,5
Электрооборудование и приборы	13,0	7,0
Кузов и его детали	7,0	8,0
Итого:	100	100

Таблица 2. Классификация отказов автобусов МАЗ по признакам проявления (пробег 150 тыс. км)

Вид отказа	Удельный вес отказов, %	Вид отказа	Удельный вес отказов,%
Износ	45	Затвердевание, смятие, срез	2
Поломка	5	Вытягивание	3
Трещина	10	Погнутость, изгиб	1,5
Прогар	4	Заедание, проворачивание	0,3
Закоксовывание	3	Выкрашивание	0,9
Перегорание, подгорание, замыкание	5	Обрыв, срыв, разрыв	20
		Ослабление затяжки крепления	1,5

С целью выявления доли отказов автобусов МАЗ, приходящихся на рулевое управление, был проведен сбор статистических данных по эксплуатационной надежности на базе АТП ПАП ДОНЭЛЕКТРОАВТОТРАНС. Информация была собрана по 18 автобусам МАЗ за два года. Общий пробег всех автомобилей за указанный период составил более 5 млн. км. Средняя наработка на отказ составила 5112 км. Среднее число дней простоев составило 49 дней на один автомобиль.

Для исследования шаровых шарниров, в качестве типовой детали-представителя, принят сферический наконечник рулевой тяги конструкция которой представлена на рисунке 1.

Экспериментальные исследования проводились в реальных условиях эксплуатации автобусов МАЗ-203067, МАЗ-203065, МАЗ-105060 на базе пассажирского автотранспортного подразделения (ПАП) коммунального предприятия администрации г. Донецка.

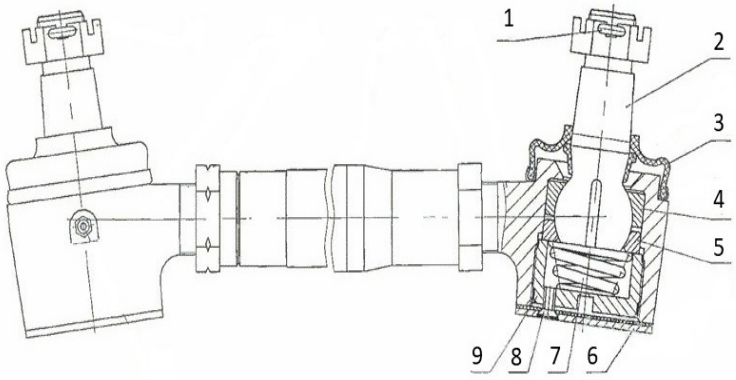


Рис. 1. Рулевая тяга автобуса МАЗ:
1 – шплинт, 2 – шаровой палец, 3 – пыльник шарового пальца, 4, 5 – вкладыши верхний и нижний, 6 – крышка, 7 – пружина, 8 – винт, 9 – стакан.

Полученные результаты исследований показывают, что основной причиной потери работоспособности рулевого управления является износ и деформация их основных деталей, в том числе и шаровых пальцев [4]. Чаще всего в исследуемых узлах появляются такие неисправности, как износ резиновых втулок реактивной штанги – до 30 %, износ шаровых пальцев продольной рулевой тяги – около 30%, износ ступичных подшипников − 20 %, износ пыльника шарового пальца – 20%. Кроме того в рулевом управлении наблюдается и существенный износ шарового пальца наконечника гидроусилителя рулевого управления. При техническом обслуживании основным методом исправления этих отказов является использование запасных частей.

Таким образом, статистические исследования показали, что одним из наименее надежных элементов рулевого управления является шаровой палец наконечника рулевой тяги, средняя наработка до отказа которого составляет пробег 35-40 тыс. км.

Для анализа видов повреждений использовались 18 наконечников рулевых тяг разных автобусов МАЗ с различной величиной осевого зазора и другими дефектами (таблица 3).

Выводы. 1. Конструкции шаровых шарниров непрерывно совершенствуются, что связано с появлением новых материалов, смазки и технологических методов изготовления и упрочнения пальцев;

2. Ресурс шаровых соединений ограничивает ресурс узла, где они установлены, в целом. Реальный ресурс шаровых соединений находится в достаточно большом интервале, что связано с тяжелыми нестабильными эксплуатационными условиями.

3. Основной причиной отказа шаровых соединений является износ её основных отдельных элементов – пальца, вкладыша.

4. Проанализировав характер износа шарового пальца, свойства покрытий и методы их нанесения, было установлено, что наиболее приемлемым покрытием является нитрид титана, а наиболее рациональный способ его нанесения является ионно-плазменное напыление [5].

Таблица 3. Дефекты исследуемых образцов шаровых шарниров

Испытываемый образец	Пробег автобуса, тыс.км.	Величина осевого зазора в шарнире, мм	Степень износа (от максимального)
№1	120	0,11	16%
№2	120	0,18	33%
№3	110	0,22	43%
№4	130	0,25	46%
№5	100	0,28	56%
№6	140	0,30	58%
№7	138	0,32	66%
№8	145	0,34	67%
№9	100	0,36	65%
№10	140	0,38	68%
№11	150	0,26	46%
№12	120	0,29	47%
№13	90	0,24	46%
№14	135	0,18	35%
№15	160	0,25	42%
№16	90	0,18	36%
№17	80	0,16	31%
№18	120	0,24	41,6%

Список литературы: 1. Мырочкин, А. В. Исследование эксплуатационной надежности элементов передней подвески и рулевого управления автобуса / А. В. Мырочкин, Ю. В. Баженов // Перспективы развития автосервиса : материалы Междунар. науч.-практ. конф. / Владим. гос. ун-т. – Владимир : Владим. гос. ун – т, 2008. – С. 34 36. – ISBN 978-5-89368-895-5. **2.** Катунин, А. А. Многоэлементный инструмент для отделочно-упрочняющей обработки головок автомобильных шаровых пальцев. А. А. Катунин, А. В. Катунин, Самойлов Н. Н. // Мир транспорта и технологических машин. – 2010. - №2(29). – С. 38-42. **3.** Тебекин, Максим Дмитриевич. Повышение эффективности определения технического состояния шаровых шарниров подвески легкового автомобиля: автореферат дис. ... кандидата технических наук : 05.22.10 / Тебекин Максим Дмитриевич; [Место защиты: Гос. ун-т - учебно-научно-произв. комплекс]. - Орел, 2015. - 20 с. **4.** Михайлов А. Н., Матвиенко С. А., Стрельник Ю. Н., Лукичев А.В. Функционально-ориентированный анализ условий эксплуатации и технологий изготовления сферических шарнирных соединений транспортных машин / Техническая эксплуатация водного транспорта: проблемы и пути развития : материалы международной научно-технической конференции (17–19 октября 2018 г.) : в 2 ч. – Ч. 2. – Петропавловск-Камчатский : КамчатГТУ, 2019. – С.112-116. **5.** Михайлов А. Н. Функционально-ориентированный подход к технологическому обеспечению ресурса деталей подвески на примере шаровых шарниров автомобиля / А. Н.Михайлов, Ю. Н. Стрельник, А. В. Лукичев, С. А. Матвиенко, И. П. Навка // Перспективные направления развития отделочно-упрочняющей обработки и виброволновых технологий: Сборник трудов/ - Ростов-на-Дону, 2018. - С. 191-194.

РАСЧЕТНАЯ ОЦЕНКА НАДЕЖНОСТИ ПОДШИПНИКА БУКСЫ ВАГОНА ПО КРИТЕРИЮ УСТАЛОСТНОГО ВЫКРАШИВАНИЯ

Невмержицкая Г.В., Шлюшенков А.П. *(БГТУ, г. Брянск, Россия)*
Тел./Факс: 89605649682; E-mail: galka_nevm@mail.ru

Abstract: *The algorithm for calculating the reliability of the car axle box bearing according to the fatigue spalling criterion in the form of a computational experiment is considered. The influence of load distribution factor over rolling bodies on bearing reliability has been investigated.*

Key words: *reliability of car axle box bearing, load distribution over axle box bearing rolling bodies, particulate and mixed loading blocks of bearing roller.*

Проведенные ранее численным методом исследования прочности и жесткости буксы вагона разного конструктивного исполнения [1,2] выявили различные законы распределения нагрузки по телам качения буксового подшипника (как по углу охвата нагруженных тел качения, так и по своему характеру).

В данной работе сделана попытка оценить влияние данного фактора на надежность подшипника по одному из вероятных видов отказа – усталостному выкрашиванию. При этом условия эксплуатации (статическая нагрузка на ось, распределение скоростей движения вагона и др.) для рассматриваемых вариантов букс условно принимались одинаковыми.

Реальный процесс нерегулярной нагруженности элементов подшипника (колец и тел качения) в местах их контактирования рассматривался как поток единичных воздействий в виде отнулевых циклов контактных напряжений различной интенсивности, зависящих от внешних сил, действующих на буксу в процессе движения вагона, кинематики подшипника, а также исследуемого в данной работе фактора – характера распределения нагрузки по телам качения.

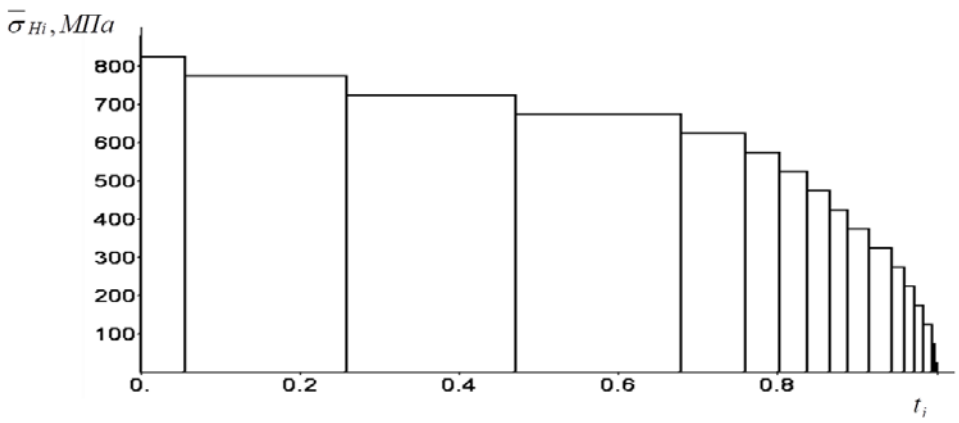
Для оценки нагруженности элементов подшипника моделировали во времени нагрузку на буксу. Затем, используя распределение нагрузки по телам качения и кинематику подшипника [3], получали реализации потоков контактных воздействий на тела качения и кольца и соответствующих максимальных контактных напряжений для частных по скорости движения вагона режимов эксплуатации. Для сравнительного анализа статическая нагрузка на буксу считалась постоянной, а распределение скоростей движения принималось по нормам расчета вагонов на прочность для пассажирских вагонов с конструктивной скоростью 160 км/ч. Оценку контактных напряжений производили без учета возможной концентрации нагрузки в пределах контакта.

По результатам статистической обработки реализаций потока контактных напряжений строили частные ступенчатые блоки нагружения, на основе которых с учетом относительных долей времени движения вагона с различными скоростями получали смешанные блоки нагружения для колец и тел качения (роликов), а также оценивали число циклов нагружения за 1 км пробега $\nu_б$. Для примера на рис.1 приведены смешанные блоки нагружения роликов, где по вертикали отложены осреднённые на множестве букс максимальные в цикле контактные напряжения $\overline{\sigma_{Hi}}$, а по горизонтали - относительные числа повторений t_i контактных напряжений *i*-й ступени блока.

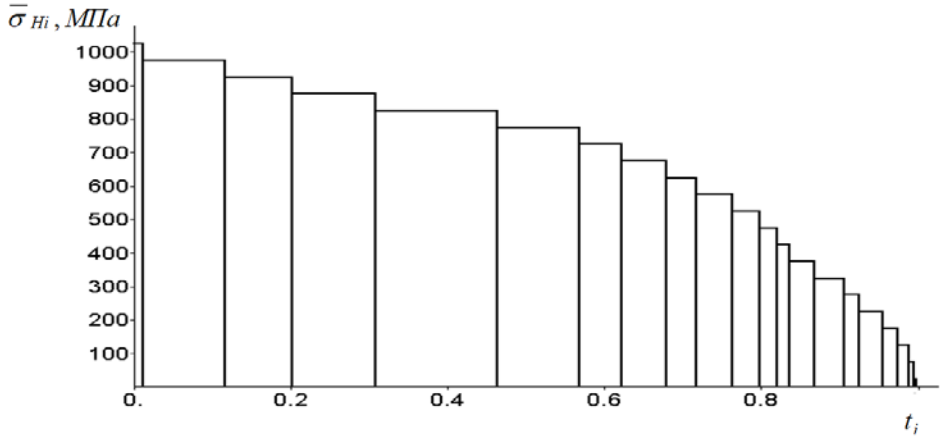
Расчет надежности подшипника по критерию усталостного выкрашивания выполняли в форме вычислительного эксперимента [4]. Для оценки наработки до отказа L использовали линейную модель накопления повреждений Пальмгрена-Майнера. Сопротивление выкрашиванию колец и тел качения описывали кривой контактной усталости в виде:

$$N_H = \left(\frac{\sigma_{OH}}{\sigma_H}\right)^{m_H} N_{GH} \quad \text{при } \sigma_H \geq \sigma_{OH};$$

$$N = \infty \quad \text{при } \sigma_H < \sigma_{OH},$$



а)



б)

Рис.1. Смешанный блок нагружения ролика подшипника: а – букса грузового вагона; б – букса пассажирского вагона

где N_H - число циклов нагружения до выкрашивания при максимальном контактном напряжении σ_H; σ_{OH} - предел контактной выносливости; N_{GH}, m_H, – соответственно абсцисса точки перелома и показатель наклона кривой контактной усталости в двойных логарифмических координатах.

Предел контактной выносливости σ_{OH} рассматривался как нормально распределенная случайная величина со средним значением $\overline{\sigma}_{OH} = 1445\,МПа$ (определяли по данным работы [5] через твердость материала и принимали одинаковым для колец и роликов) и коэффициентом вариации $V_{\sigma_{OH}} = 0.1$.

Вариацией параметров кривой усталости N_{GH} и m_H пренебрегали и принимали их значения по тем же данным равными $12 \cdot 10^{7.}$ и 6 соответственно.

Контактные напряжения σ_{Hi} ступеней смешанного блока нагружения на множестве букс рассматривали как нормально распределенные случайные величины. При этом полагали, что преобразование блока нагружения от буксы к буксе происходит подобно с сохранением значений относительных параметров блока $\sigma_{Hi}/\sigma_{H\max}$ и t_i ($\sigma_{H\max}$ -максимальное в блоке нагружения контактное напряжение), так что $\sigma_{Hi} = \overline{\sigma_{Hi}}\varepsilon$, где ε - нормально распределенная случайная величина со средним значением $\overline{\varepsilon} = 1$ и коэффициентом вариации $\nu_\varepsilon = \nu_{\sigma_{Hi}}$ (по данным [4] принимали $\nu_\varepsilon = 0{,}2$).

В каждом *j*-м вычислительном опыте по правилам метода Монте-Карло сначала моделировали случайное значение ε_j и формировали смешанные блоки нагружения элементов подшипника *j*-й буксы. Затем для всех роликов и колец моделировали случайные значения предела выносливости σ_{OHqj}(*q*- условный номер элемента подшипника, $q = \overline{1,k}$, где *k*-общее число элементов). Далее для каждого *q*-го элемента вычисляли наработку в км пробега по формуле [4]

$$L_{qj} = \frac{\sigma_{OHqj}{}^{m_H} \; N_{GH}}{\nu_{áq} \sum\limits_{i=1}^{r} (\overline{\sigma}_{Hi_q} \, \varepsilon_j \;)^{m_H} \; t_{iq}}.$$

Суммирование в знаменателе формулы осуществляли по напряжениям $\sigma_{Hi} = \overline{\sigma}_{Hiq}\varepsilon_j \geq \sigma_{OHqj}$. Если максимальное напряжение в блоке нагружения $\sigma_{H\max qj} = \overline{\sigma}_{H\max q}\varepsilon_j < \sigma_{OHqj}$, то полагали, что выкрашивание данного *q*-го элемента не произойдет при сколь угодно большом пробеге вагона.

При оценке надежности подшипника считали, что выкрашивание одного его элемента приводит к отказу подшипника в целом. В качестве наработки до отказа подшипника *j*-й буксы принимали минимальное из полученных *k* значений наработок $L_j = \min L_{qj}$. Если выкрашивание не происходит ни в одном элементе, то соответственно не происходит отказа подшипника в целом и наработка до отказа $L_j = \infty$.

Повторяя вычислительные опыты M раз (M=1000), получали выборку наработок до отказа, по которой рассчитывали показатель безотказности подшипника - вероятность безотказной работы *P(L)* для заданной наработки L, по формуле

$$Ð(L) = 1 - Q \cdot F(L),$$

где $Q = \frac{m}{M}$ - относительная доля отказавших подшипников; *m* - число вычислительных опытов с конечной наработкой до отказа; *F(L)* – функция распределения наработки до отказа.

Для описания *F(L)* использовали закон распределения Вейбулла в виде

$$F(L) = 1 - \exp\left[-\left(\frac{L}{b}\right)^c\right],$$

параметры которого *b* и *c* определяли из решения системы уравнений метода максимального правдоподобия

$$b = \left(\frac{\sum\limits_{j=1}^{m} L_j{}^c}{m}\right)^{\frac{1}{c}},$$

$$c = \left[\frac{\sum\limits_{j=1}^{m}\left(L_j{}^c \ln L_j\right)}{\sum\limits_{j=1}^{m} L_j{}^c} - \frac{\sum\limits_{j=1}^{m} \ln L_j}{m}\right]^{-1}.$$

В результате вычислений были получены следующие значения:

- для буксы пассажирского вагона Q=0,182, b=2,04·10^6, c=0,083,

- для буксы грузового вагона Q=0,054, b=1,46·10^8, c= 0,055.

На рис.2 приведены графики функции вероятности безотказной работы подшипников для сравниваемых вариантов букс.

Видно, что фактор распределения нагрузки по телам качения оказывает существенное влияние на безотказность подшипника. Так, при наработке $4 \cdot 10^6$ *км* пробега вероятность безотказной работы для сравниваемых вариантов составила 0.976 и 0.875, вероятность отказа соответственно 0,024 и 0,125. Таким образом, более благоприятное распределение нагрузки по телам качения снизило в данном случае вероятность отказа в 5 раз.

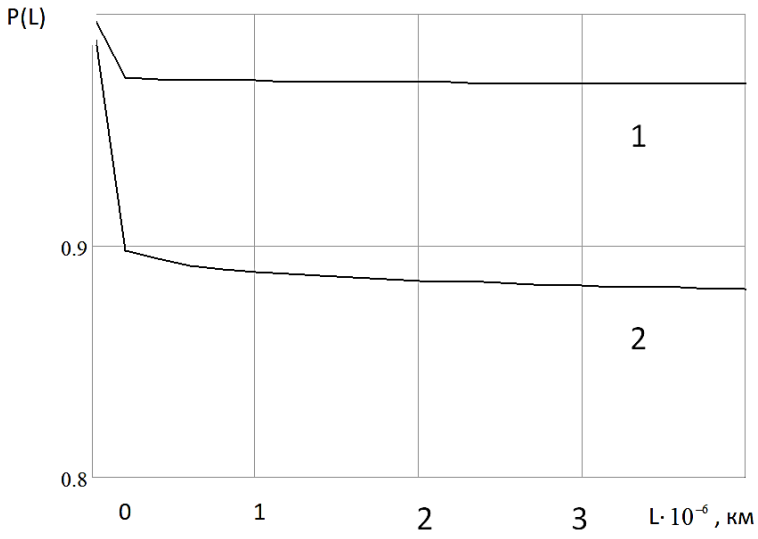


Рис.2. Вероятность безотказной работы подшипников букс в одинаковых условиях эксплуатации: 1 – букса грузового вагона; 2 – букса пассажирского вагона

В заключение отметим, что предельное состояние подшипника характеризуется выкрашиванием не одного, а чаще всего нескольких элементов. Если принять процессы выкрашивания элементов независимыми, то по предложенному алгоритму можно оценить надежность подшипника по критерию выкрашивания заданного числа элементов. Наработке до отказа L_j в данном случае будет соответствовать значение члена вариационного ряда наработок L_{qj} с порядковым номером, равным числу поврежденных элементов. При этом увеличатся значения параметров b и c распределения Вейбулла, а график функции вероятности безотказной работы сместится вправо в область большей надежности. Сравнительные оценки влияния фактора распределения нагрузки по телам качения существенно не изменятся.

Список литературы: 1. Невмержицкая Г.В., Ольшевский А.А., Сакало В.И. Исследование нагруженности деталей буксового подшипника. Вестник БГТУ, №4 - Брянск, 2004.-5 с. **2.** Невмержицкая Г.В., Ольшевский А.А. Исследования нагруженности и долговечности деталей буксового подшипника грузового вагона //Сборник трудов XIII Междунар. научно-технич. конф. – Донецк: 2006, Том 3. – С. 101-105. **3.** Невмержицкая Г.В. Учет кинематики буксового подшипника при расчете нагруженности точек его деталей// Прогрессивные технологии и системы машиностроения: Междунар. сб. науч. тр. – Донецк, 2000.-С.32-36. **4.** Шлюшенков А.П. Нагруженность и расчеты деталей машин и элементов конструкций на прочность и долговечность. – Брянск: БИТМ, 1991.-156 с. 5. Кудрявцев В.Н. Детали машин. – Л.: Машиностроение, 1980. – 464 с.

ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА ИЗГОТОВЛЕНИЯ ВЫСОКОТОЧНЫХ ИЗДЕЛИЙ НА ОСНОВЕ ТЕХНОЛОГИИ ВИРТУАЛЬНОЙ СБОРКИ

Непомилуев В.В., Семенов А.Н., Задорина Н.А.
(РГАТУ им. П.А. Соловьева, г. Рыбинск, Россия)
Тел. +7 9806542226; E-mail: vvvvnn@yandex.ru

Abstract: *The article presents the results of a study of the possibilities of the method of individual selection of parts in the Assembly of machines containing multi-dimensional chains. The study of the stochastic model of the process of individual selection of parts based on the genetic algorithm for finding the optimal solution. It is shown that the use of the proposed algorithm of parts selection can significantly improve the accuracy of such machines, which makes it possible to provide the required quality of their Assembly at a lower cost.*
Keywords: *Assembly, quality, dimensional chain, individual selection of parts, computer simulation*

Научно-технический прогресс в машиностроении неизбежно сопровождается неизбежным повышением требований к качеству и технико-экономическим характеристикам выпускаемых изделий. Создание новых изделий в значительной мере сдерживается имеющимся уровнем технологии их изготовления. Такая ситуация характерна, например, для авиационного двигателестроения, где имеются сложные проблемы балансировки гибких роторов газотурбинных двигателей (ГТД).

При использовании традиционного подхода для обеспечения уравновешенности изготавливаемого ротора необходимо повышать качество деталей, поступающих на окончательную сборку. Оно должно быть столь высоким и стабильным, что его достижение в серийном производстве авиационных двигателей встречает практически непреодолимые трудности как в настоящее время, так и в обозримом будущем. Ультрапрецизионные методы обработки при экстремальных требованиях к качеству всегда сложны, трудоемки, недостаточно надежны и неустойчивы. Появление же новых, значительно более точных и одновременно не слишком дорогих методов изготовления деталей в ближайшее время маловероятно. Использование существующих технологических методов далеко не всегда позволяет получить нужный результат с приемлемыми затратами [1].

Существующие технологические методы изготовления деталей постоянно совершенствуются, но этот процесс протекает достаточно медленно, эволюционно. В связи с этим необходимы новые подходы к решению проблемы обеспечения качества.

Методы компенсации, используемые при сборке изделия, позволяют различными способами компенсировать неточности изготовления деталей, что дает возможность из неточных деталей собирать точные изделия, поэтому практически всегда в том или ином виде они применяются при сборке роторов ГТД. Широко используемый метод пригонки в настоящее время часто является единственным способом обеспечить требуемое качество сборки ГТД, но его недостатки вынуждают всеми возможными способами избегать применения этого метода.

Метод регулирования обеспечивает достижение высокой точности сборки более экономичными средствами по сравнению с методом пригонки, однако, также имеет серьезные недостатки. Так, при использовании этого метода в реальных конструкциях ГТД часто возникает необходимость трудоемкой разборки собранного узла для замены компенсирующего звена и затем повторной сборки его. Это связано с тем, что расчет требуемой величины этого звена с помощью классической теории размерных цепей имеет совершенно недостаточную точность даже в том случае, если до сборки известны действительные размеры всех деталей - составляющих звеньев собираемой размерной

цепи, а определение выходных параметров качества сборки часто возможно только после ее полного завершения. Кроме того, при использовании этого метода необходимо еще на этапе проектирования машины определить возможную величину компенсации и размеры компенсаторов, что опять-таки вызывает необходимость рассчитывать нежесткие размерные цепи. Использование же подвижного компенсатора значительно усложняет конструкцию узла и снижает его надежность.

Кроме того, при использовании методов пригонки и регулировки возникают проблемы с определениям места и величины компенсации, связанные с деформацией гибкого ротора при работе.

При использовании перечисленных выше методов сборщик наугад берет собираемые детали, а удовлетворительность или неудовлетворительность полученного в результате параметра качества оценивается уже после сборки. Таким образом, сам процесс суммирования погрешностей деталей при образовании сборочного соединения неуправляем и качество сборки изделия обеспечивается постпроцессным контролем.

Этого недостатка лишен метод индивидуального подбора деталей (иногда он называется методом попарного или непосредственного подбора - если подбирается пара сопрягаемых деталей, или сборкой по действительным размерам), который также достаточно широко применяется при сборке высокоточных изделий, когда требования к качеству изготовления деталей значительно превышают возможности существующих методов обработки. При попарном подборе, как правило, подбираются охватываемая и охватывающая поверхности сопрягаемых деталей, например, хвостовик лопатки к пазу диска. Точность, достигаемая этим методом, зависит от количества тех звеньев в цепи, размеры которых подбираются. Чем больше звеньев содержит размерная цепь и чем большее количество из них подбирается перед сборкой, тем выше достигаемая при этом методе точность замыкающего звена размерной цепи [2].

Непосредственное применение такого способа при сборке реального изделия, когда количество возможных вариантов соединения деталей может превышать десятки миллионов, невозможно. Однако, процесс индивидуального подбора деталей может быть автоматизирован с помощью компьютера, что позволит обеспечить управляемость процесса сборки на основе предварительного компьютерного моделирования его.

Метод индивидуального подбора деталей с помощью компьютера является основой технологии виртуальной сборки. Виртуальную сборку можно представить как процесс, происходящий внутри компьютера, но включающий в себя все основные существенные признаки и явления физически выполняемой сборки реально существующего изделия. В результате осуществления виртуальной сборки внутри компьютера создается виртуальное изделие – адекватная цифровая математическая модель (или набор математических моделей) собранного изделия, учитывающая все наиболее существенные свойства и процессы, характерные для данного конкретного экземпляра какого-либо реального изделия.

Виртуальность изделия заключается в программном моделировании необходимых для его функционирования операций. В самом простейшем случае это виртуальное изделие может быть предназначено, например, для определения выходных геометрических (распределение эксцентриситетов) или физических (распределение дисбалансов) характеристик сборки соответствующего реального изделия в данном конкретном варианте комплектации его деталей. Однако, наличие в компьютере виртуального изделия позволяет ставить, быстро и эффективно решать и значительно более сложные и интересные в практическом или теоретическом отношении задачи. Так, с полученным виртуальным изделием в компьютерной среде виртуальной реальности в принципе можно очень быстро и с небольшими затратами производить те же самые действия, что и с реальным, физически существующим изделием, например, виртуальные балансi-

ровку, испытание, эксплуатацию. А это уже позволяет оценивать качество сборки изделия при данном конкретном варианте его комплектации по тем критериям, которые однозначно характеризуют его, но не могут быть обеспечены при использовании традиционной технологии сборки. Тем самым можно избежать потерь информации, что приводит к экономии материальных и энергетических ресурсов. Виртуальность этого процесса и возможность полного осуществления всех его этапов внутри компьютера позволяет выполнять все перечисленные выше операции чрезвычайно быстро и с небольшими затратами, несоизмеримыми с затратами на физически выполняемую сборку сложных изделий.

Технология виртуальной сборки дает возможность:

- оценивать качество сборки изделия не только с помощью традиционных показателей (в качестве их обычно используют размеры деталей), но и использовать гораздо более надежные и информативные эксплуатационные показатели, тесно связанные со служебным назначением изделия и не обеспечивающиеся при обычно используемой технологии сборки;
- оценивать качество самой конструкции изделия, исследуя ее поведение на различных режимах с учетом специфических погрешностей, возникающих на всех этапах ее изготовления;
- обоснованно формулировать требования к качеству изготовления деталей.

Практическое использование технологии виртуальной сборки требует решения нескольких специфических проблем:

- высокая трудоемкость создания баз данных по параметрам качества деталей, вызванная заполнением документов вручную;
- отсутствие идентификации деталей на этапах изготовления, контроля, транспортировки;
- отсутствие методики оценки последствий, позволяющей априорно оценивать достигаемые результаты;
- отсутствие методики технико-экономической оценки достигаемого при использовании индивидуального подбора результата, которая бы позволила сопоставить величину дополнительных затрат и достигаемых результатов;
- принцип разделения труда, доминирующий при существующей организации производства, который противоречит принципам процессного подхода;
- потеря взаимозаменяемости деталей изделий, собранных по методу индивидуального подбора деталей, формально создающая дополнительные сложности при ремонте;
- неустойчивость результата сборки, вызванная вероятностным характером процессов сборки по методу индивидуального подбора деталей;
- отсутствие методики обеспечения устойчивости, которая позволила бы обеспечить стабильность результата применения метода подбора.

Выполненные к настоящему времени исследования позволили, в основном, решить эти проблемы.

Так, были исследованы несколько алгоритмов индивидуального подбора деталей и установлено, что:

- теоретически наилучший результат дает использование алгоритма полного перебора, но его трудоемкость чрезвычайно высока;
- вид алгоритма подбора деталей в большой степени определяет трудоемкость процесса и достигаемое качество;
- индивидуальный подбор деталей перед сборкой во всех случаях позволяет резко снизить погрешность замыкающего звена размерной цепи;
- при использовании индивидуального подбора деталей величина погрешности

замыкающего звена уменьшается по мере роста количества составляющих звеньев, что объясняется тем, что при подборе погрешности составляющих звеньев компенсируют друг друга, а при увеличении количества звеньев в размерной цепи возможности взаимной компенсации увеличиваются;

- при использовании любого алгоритма в процессе возникают нарушения, которые вызываются тем, что для отдельных собираемых деталей не находится сопрягаемых деталей, обеспечивающих попадание параметров качества образующихся изделий в заданные границы;

- результат сборки чувствителен к изменению распределения параметров качества деталей, не контролируемых обычно при их изготовлении (вид закона распределения размеров составляющих звеньев и его параметры);

- количество рассмотренных вариантов для реализации разных алгоритмов значительно отличается [3].

Наилучшие результаты в отношении достигаемого качества и устойчивости процесса сборки показал генетический «алгоритм со случайным выбором», который в многозвенных размерных цепях позволяет таким образом подобрать собираемые детали, что они практически полностью взаимно компенсируют погрешности изготовления друг друга. При использовании этого алгоритма задача подбора деталей рассматривается как оптимизационно-комбинаторная и заключается в поиске минимума целевой функции по алгоритму частичного перебора, основанному на стохастических методах оптимизации. Формализация задачи подбора деталей при сборке размерной цепи как задачи оптимизации некоторой целевой функции позволяет применять для ее решения математические методы исследования операций [4].

Генетические алгоритмы хотя и не гарантируют нахождение точного решения, но характеризуются высокой скоростью работы и независимостью от исходных данных.

Для компенсации возникающих при использовании метода индивидуального подбора деталей нарушений в процессе сборки могут быть применены достаточно простые и эффективные методы, например, пополнение запаса деталей на сборке, изменения настроечного размера при изготовлении деталей, дополнительная обработка имеющихся на сборочном складе деталей (незавершенного производства), изменение сортности или служебного назначения «неудачных» собранных изделий и т.д. [5].

Таким образом, технология виртуальной сборки, основанная на использовании «алгоритма со случайным выбором», позволяет обеспечить высокое качество сборки из деталей обычного качества при приемлемой трудоемкости процесса подбора.

Список литературы: 1. Безъязычный, В.Ф., Непомилуев В.В., Семенов А.Н. Обеспечение качества изделий при сборке. М.: Издательский дом «Спектр», 2012. - 204 с. **2.** Непомилуев В.В. Некоторые проблемы обеспечения качества сборки высокоточных изделий и перспективы их преодоления // Справочник. Инженерный журнал. - № 8. - 2012. Приложение. С. 7-13. **3.** Непомилуев В.В., Олейникова Е.В., Семенов А.Н. Метод индивидуального подбора деталей как основа обеспечения качества сборки высокоточных изделий // Вестник РГАТУ им. П.А. Соловьева. - 2016. - № 4 (39) - С. 37-42. **4.** Задорина Н.А., Непомилуев В.В. Исследование возможности повышения качества сборки на основе использования метода индивидуального подбора деталей // Вестник РГАТУ им. П.А. Соловьева. - 2018. - № 4 (47). - С. 84-89. **5.** Задорина Н.А., Непомилуев В.В. Обеспечение качества сборки высокоточных изделий на основе метода индивидуального подбора деталей // Сборка в машиностроении, приборостроении. - № 4. - 2020. С. 152-157.

ОЦЕНКА НЕОДНОРОДНОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ В ЛИСТОВОМ ПРОКАТЕ

Осипок Т.В., Зайдес С.А. *(ИрНИТУ, г. Иркутск, Россия)*
E-mail: osipok_tv@mail.ru, zsa@istu.edu

Abstract: *In the article, to assess the heterogeneity of the distribution of mechanical properties in rolled steel, the results are presented: uniaxial tensile test of flat samples cut in three directions relative to rolling (longitudinal, transverse and at an angle of 450); fractographic analysis of samples destroyed after testing; metallographic analysis and micromechanical research (microhardness measurement) of samples.*
Keywords: *anisotropy, mechanical properties, fractogram, microstructure, non-metallic inclusions, structural inhomogeneity, microhardness.*

1. Введение

В процессе производства стального проката с увеличением степени деформации сфероидальные до деформации зерна вытягиваются в направлении деформации, появляется волокнистая макроструктура металла и его свойства становятся анизотропными [1-3]. Анизотропию холоднодеформируемых и горячедеформируемых изделий рассматривают раздельно, так как у холоднодеформируемых изделий, не подвергающихся рекристаллизационной термической обработке значения механических свойств продольных и поперечных образцов обычно заметно различаются, в то время как у горячедеформированных материалов этой разницы может и не быть. У ряда сталей, после холодной прокатки, значения предела прочности в поперечном направлении выше, чем в продольном, наблюдается и «обратная» анизотропия, аналогичные результаты получены в работе [4].

Основными причинами неоднородности распределения механических свойств у стальных изделий являются – кристаллографическая и механическая текстура, волокнистость, полосчатость, и наличие включений. Неметаллические включения, оксиды и сульфиды в процессе деформации располагаются или в виде разорванных строчек (оксиды) или в виде продолговатых линз (сульфиды), ориентированных вдоль направления прокатки. Эти включения служат центрами кристаллизации феррита, в результате образуется полосчатая феррито-перлитная структура [5]. Ценные заключения об анизотропии механических свойств могут дать фрактографические и металлографические исследования [6].

В Иркутском национальном исследовательском техническом университете ведутся работы по созданию отделочно-упрочняющих процессов поверхностного пластического деформирования на основе новых кинематических схем рабочего инструмента [7]. Одним из отличий упрочняющих процессов обработки является пластический след от рабочего инструмента. Он может быть продольным, т.е. совпадать с направлением осевой линии цилиндрической детали [8], может быть поперечным (перпендикулярно осевой линии) [9] или располагаться под некоторым углом к осевой линии [10].

Пластический след от рабочего инструмента показывает направление, по которому формируются механические свойства материала. Таким образом, направление упрочняющей обработки будет влиять на характеристики пластичности и прочности поверхностного слоя. Чтобы подтвердить это экспериментально, нужно определить неоднородность механических свойств исходного материала, которая будет оказывать влияние (или не будет) на свойства упрочненных деталей.

Цель работы – установить влияние неоднородности распределения механических свойств материала на характеристики прочности ($\sigma_в$, $\sigma_{0,2}$) и пластичности (δ) в различных направлениях плоскости прокатки.

Для достижения поставленной цели необходимо: испытать материал на одноосное растяжение в различных направлениях относительно направления прокатки и провести анализ полученных результатов, затем выполнить анализ фрактограмм, микроструктуры и значений микротвердости сечений, параллельных поверхности изломов.

2. Испытание материала на одноосное растяжение

В качестве материала использовали стальной прокат тонколистовой сплава Ст3 по ГОСТ 16523-97 толщиной 3,0 мм. Для испытания на растяжение подготовлено девять плоских образцов, направление продольной оси которых ориентировано под углом 0^0, 45^0 и 90^0 относительно направления прокатки (по три образца в каждом направлении). Размеры образцов представлены в таблице 1, где a_0 – толщина рабочей част образца, b_0 – ширина рабочей части образца, l_0 –расчетная длина образца, l – рабочая длина образца, L – длина образца, B – ширина образца.

Таблица 1. Размеры образцов для испытания на одноосное растяжение

$a_{0,\,мм}$	$b_{0,\,мм}$	$l_{0,\,мм}$	$l_{,\,мм}$	$L_{,\,мм}$	$B_{,\,мм}$
3	*20*	*80*	*100*	*250*	*30*

Механические свойства стали определены при растяжении на испытательной машине LFM-100 в соответствии с ГОСТ 1497-84, результаты испытания представлены в таблице 2.

Таблица 2. Результаты испытания образцов на растяжение

Ориентация образцов относительно направления прокатки	Средние значения полученных характеристик			
	$\sigma_{0,2}$, МПа	$\sigma_в$, МПа	P_{max} Н	δ, %
Продольные	336,7	486,4	28578,0	28,2
Диагональные	337,7	483,1	28727,3	24,3
Поперечные	341,9	480,5	28587,7	28,9

В результате анализа полученных результатов после механического испытания образцов на растяжение выявлено, что механические свойства стали различны в плоскости прокатки, а именно: предел прочности ($\sigma_в$) увеличивается от поперечного направления продольному, предел текучести ($\sigma_в$) , наоборот, от продольного к поперечному; наибольшее значение максимальной нагрузки (P_{max}), предшествующей разрушению образца, приложено к диагональным образцам, которым также соответствует наименьшее значение относительного удлинения (δ).

3. Фрактографический анализ разрушенных образцов

Фрактографический анализ изломов образцов после испытания на растяжение проводили с использованием стереомикроскопа Stemi 2000C по РД 50-672-88 и литературным источникам [11-12]. Фотографирование выполнено с помощью программы Nexsys Image Expert.

Разрушение всех образцов произошло с образованием шейки по смешанному типу (макроотрыв и макросрез) в двух плоскостях. Наибольший интерес представляет поверхность излома поперечного образца, представленная на рис.1, которая характеризуется наличием слоистости. Слои располагаются в виде параллельно ориентированных волокон различной длины, заканчивающихся поперечными уступами, что свидетельствует о неоднородности структуры материала.

4. Металлографический анализ разрушенных образцов

Приготовление микрошлифов для металлографических исследований выполняли по известным методикам [13] на шлифовально-полировальном станке модели TwinPrep

5. Металлографическое исследование осуществляли на инвертированном микроскопе Axio Vert.A1. В качестве химического реактива использовали 4% спиртовой раствор азотной кислоты. Фотографирование выполнено с помощью программы Thixomet PRO.

В процессе исследования нетравленых микрошлифов в плоскости, параллельной поверхности изломов, у разрушенных поперечных образцов обнаружены неметаллические включения, ориентированные вдоль направления прокатки – вытянутые пластичные сульфиды (рис.2а), которые служат центрами кристаллизации феррита, в результате чего образуется полосчатая феррито-перлитная структура, обнаруженная после травления (рис.2б). Микроструктура характеризуется общей ориентировкой вдоль направления деформации со сплошными и разорванными полосами из равноосных зерен феррита, что соответствует 2 баллу шкалы 3 ГОСТ 5640-68 (ряд Б).

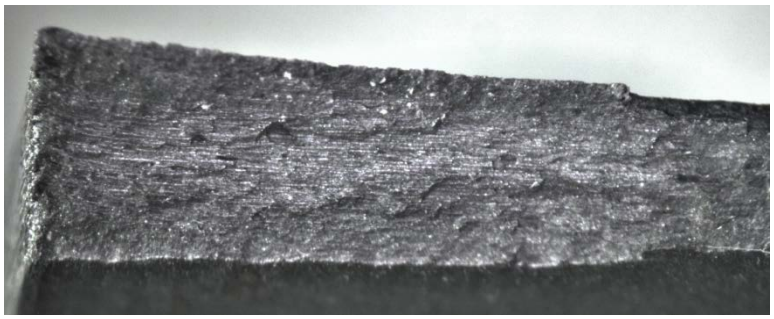
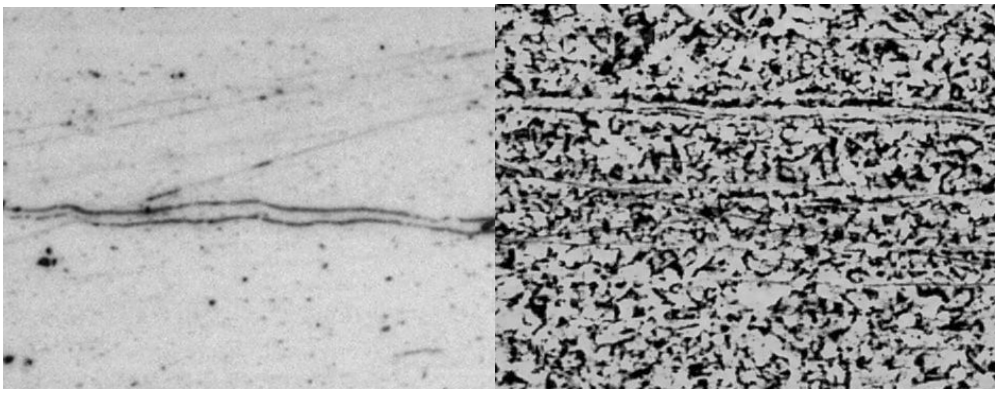


Рис.1 Часть поверхности излома поперечного образца (увеличение 10х)



a ***b***

Рис. 2. а – сульфиды (пластичные)×500х; b – микроструктура, соответствующая плоскости, параллельной поверхности излома (×100х)

5. Микромеханическое испытание образцов

Замеры микротвердости выполняли на переполированных, с целью снятия химического травления, образцах после металлографического исследования на микротвердомере ПМТ-3М по ГОСТ 9450-76.

Выполнены замеры микротвердости в месте ферритных полос и феррито-перлитной структуры. Для максимального вписывания отпечатков в ферритные полосы, ширина которых составляет до 11,3 мкм, опытным путем подобрана нагрузка *F*= 10 гс, прикладываемая в течение 15 с.

В результате получены следующие числа микротвердости: в месте ферритных полос 161 HV, в месте ферритно-перлитной структуры 184 HV. Микротвердость в месте ферритных полос на 12,5% меньше микротвердости основной структуры.

Также определили числа микротвердости на нетравленых микрошлифах образцов при нагрузке *F*= 50 гс. В результате числа микротвердости для образцов распределились следующим образом: продольные образцы – 190 HV, поперечные –180 HV, диагональные – 220 HV. Анализ полученных результатов исследования микротвердости образцов объясняет полученные данные таблицы 2 в части значений относительного

удлинения, а именно: наименьшая пластичность материала под углом 45^0 к направлению прокатки обусловлена наибольшим упрочнением в процессе растяжения в данном направлении.

Таким образом, в результате испытания на растяжение образцов листового проката из стали марки Ст3 выявлена анизотропия механических свойств.

С помощью фрактографического анализа выявлена неоднородность структуры материала.

В результате металлографического исследования в микрошлифах обнаружены неметаллические включения – сульфиды пластичные, являющиеся причиной образования полосчатой феррито-перлитной структуры, выявленной после травления образцов.

Обобщив полученные результаты исследования можно сделать следующие **выводы:**

1. Предел прочности материала вдоль направления прокатки выше, чем в поперечном направлении и под углом 45^0 ввиду того, что обнаруженные неметаллические включения (пластичные сульфиды), ориентированные вдоль направления деформации, имеют наименьшее влияние на статическую прочность в данном направлении. Наибольшее значение предела текучести поперек направления прокатки относительно продольного направления и направления под углом 45^0 обусловлено влиянием направления волокна.

2. Пластичность материала поперек прокатки выше, чем в продольном направлении, очевидно, по причине неравномерного упрочнения материала поперек прокатки в процессе пластической деформации при растягивающих нагрузках ввиду выраженной неоднородности структуры, о чем свидетельствуют полученные значения микротвердости в месте ферритных полос и основной структуры материала (в месте полос микротвердость ниже). Наименьшая пластичность материала наблюдается под углом 45^0 к направлению прокатки, вероятно по причине значительного упрочнения материала (наивысшая микротвердость образца), обусловленного совпадением направления волокна с максимальными касательными напряжениями в процессе испытания на растяжение, следовательно, в данном случае основное влияние оказывает направление волокна.

Список литературы: 1. Рудской А.И., Лунев В.А. Теория и технология прокатного производства. – СПб: Наука, 2008. – 527 с. **2.** Ginzburg VB, Ballas R. Flat rolling fundamentals. – CRC Press, 2000. – 838 с**. 3.** Roberts V.L. Hot rolling of steel. - CRC Press, 1983. – 1035 с. **4.** Пузанов М.П. Исследование анизотропии механических свойств в холоднокатаном состоянии / М.П. Пузанов, С.И. Степанов // Сборник научных трудов XVIII Международной научно-технической уральской школы-семинара металловедов-молодых ученых. – Екатеринбург: УрФУ. – 2017. – С. 562-566. **5.** Гуляев А. П. Металловедение. 5-е изд., перераб //М.: Металлургия. – 1977. – 646 с. **6.** Микляев П. Т., Фридман Я. Б. Анизотропия механических свойств металлов. – М.: Металлургия, 1986. − 226 с. **7.** Зайдес С.А., Фам Д.Ф., Нго К.К. Новые процессы поверхностного пластического деформирования. Иркутск Изд-во ИРНИТУ,2019. –352 с. **8.** Зайдес С.А. Охватывающее деформационное упрочнение маложестких валов // Упрочняющие технологии и покрытия. 2008. № 2. – С. 3 – 6. **9.** Зайдес С.А., Фам Дак Фыонг. Поверхностное пластическое деформирование поперечной обкаткой плоскими плитами // Упрочняющие технологии и покрытия. 2016. № 5. – С. 6 – 12. **10.** Зайдес С.А., Нгуен Ван Хинь. Влияние параметров осциллирующего выглаживания на шероховатость упрочненных поверхностей. Вестник ИрГТУ. том 21 №4 2017. С.22-29. **11**. Фридман Я.Б. Механические свойства металлов. – М.: Машиностроение, 1974. – 472 с. **12**. Аникина В.И., Ковалева А.А. Фрактография в материаловедении // Учебное пособие. — Красноярск: СФУ, 2014. — 143 с.

ЗАДАЧИ ФОРМИРОВАНИЯ ИНФОРМАЦИОННОЙ БАЗЫ В СИСТЕМАХ МЕДИЦИНСКОЙ И ТЕХНИЧЕСКОЙ ДИАГНОСТИКИ

Павлыш В.Н., Бурлаева Е.И., Дегонский А.И. *(ДОННТУ, ДОННМУ, г. Донецк, ДНР)*
Тел. *+38 (062) 301 03 91; E-mail: pavlyshvn@mail.ru*

Abstract. *The task of information providing forming for technical and medicine diagnostics systems presented as text documents is considered. The analysis of advantages and defects of using methods is dong, the ways of modification is proposed.*
Key words: *information, data base, diagnostics, system, algorithm.*

Актуальность работы. Важное место в системах медицинской и технической диагностики занимает база данных, содержащая контрольную, входную, текущую и выходную информацию. Обмен информацией является важнейшей частью современной деятельности человека. По оценкам экспертов, около 70% накопленной и используемой информации находятся в несистематизированной текстовой форме, вследствие чего затрудняется получение требуемых сведений по конкретной тематике. Таким образом, возникает острая необходимость в создании систем, позволяющих автоматически классифицировать специализированную информацию [1, 2]. В сложившейся ситуации работы по формированию баз данных, систем анализа и управления специализированной текстовой информацией приобретают особую актуальность.

В этой связи тема статьи является актуальной и важной при организации компьютерных систем технической и медицинской диагностики.

Цель работы – совершенствование структуры и способов представления информационной базы компьютерных систем диагностики.

Основное содержание работы. Основной функцией систем извлечения знаний является информационный поиск полезных сведений в документальных базах. Более точное и быстрое извлечение знаний имеет своей конечной целью информационную поддержку эксперта или автоматизированной системы при принятии решения в поставленной задаче (вопросе). Так изучение процедур принятия решений и организация системы составляет актуальную проблему создания и эксплуатации сложной системы. Сложная система включает в себя системы с большим числом элементов различного типа и с разнородными связями между ними. Связь обеспечивает возникновение и сохранение целостных свойств системы. Она определяется как ограничение степени свободы элементов. Под элементами понимается предел членения системы. Установлением систематизированных связей между элементами исследуемой системы занимается системный анализ. Системный анализ и управление информацией подразумевает под собой совокупность процедур, системных идей, подходов, теорий и методов, предназначенных для анализа объектов и процессов [3].

Применение системного анализа для построения такой системы означает применение специально разработанных приемов, методик, типовых моделей организации системы и принятия ращений. Рассмотрим основные результаты выполненного в исследовании анализа существующих подходов, тенденций и закономерностей управления и систематизации текстовой информации.

Появление новых технологий способствует научному прогрессу. Тенденция увеличения объемов и распространения информации в электронном виде стимулирует активное развитие автоматических систем обработки информации. В большинстве организаций значительная часть полезной информации содержится в электронных базах данных.

Организации в ходе своего существования формируют достаточно большие архивы документации. В данных архивах содержатся не только результаты официального документооборота (распоряжения, приказы и пр.), но и техническая документация по

выполненным и текущим проектам: планы, технические отчеты, проектная документация и т.д.

Значительная часть хранящейся информации оформляется в виде текстового описания, анализ и систематизация которой предполагает ее глубокое осмысление, работу с данными, принятием адекватных решений относительно анализа и управления той или иной ситуацией:

– получение дополнительной информации;
– анализ имеющейся в наличии информации, относящейся к анализируемой проблеме;
– тематическую обработку информации;
– визуализацию и подготовку аналитических отчетов, их верификацию;
– принятие управленческих решений на основе новых знаний.

Большая часть используемых документов формируется в виде текстового описания. В связи с ростом используемых персональных компьютеров в организациях чрезвычайно быстро растет и количество текстовой информации на естественном языке хранящейся в электронном виде.

С ростом объема информационного потока специалистам–аналитикам становится все труднее заниматься тематическим анализом информации и ведением аналитических задач вручную при существующих средствах автоматизации. В соответствии с оценками экспертов около 70% используемых и накопленных цифровых данных находится в несистематизированной текстовой форме и лишь 30% образуют другие виды данных. Экспоненциальное с течением времени увеличение количества несистематизированных данных приведет по существу к коллапсу традиционной системы распределения и получения текстовой информации. Как следствие рутинная операция анализа и поиска необходимых данных превращается в малоэффективный и трудоемкий процесс, вызывающий информационную перегрузку пользователей. В данной ситуации особую актуальность приобретают работы по созданию систем автоматически систематизирующих и управляющих текстовой информацией. Как показывает практика, результаты распределения по предметным областям документом «вручную», то есть путем экспертного отнесения к имеющейся тематике, как правило, не превышает 80%.

Классификация текста подразумевает распределение текстовых документов по заранее определенным категориям [4]. На стыке двух областей находятся методы классификации текстовых документов, а именно машинного обучения и информационного поиска. Объединяет данные области средства оценки качества классификации информации и средства представления документов. Различия заключаются лишь в способах отнесения документа к соответствующей тематике. Точность используемых методов классификации существенно зависит от выполнения априорных допущений и предположений, также стоит учитывать структуру текстовых данных, например, количество классов, вид «пограничной» области между классами, однородность и размеры классов. Программные разработки, обесточивающие автоматическую классификацию информационных массивов, существуют, но они, как правило, лишь частично решают проблему автоматической систематизации и управления информацией или ведения аналитических задач. В этой связи возникает необходимость в решении задач создания усовершенствованной системы анализа информации, состоящей в управлении и систематизации текстовых документов.

При построении системы, классифицирующей текстовую информацию, необходимо учесть следующие факторы [5]:

– количество информативных, то есть полезных для классификации терминов, или признаков, которые как правило существенно превосходят количество имеющихся в выборке документов, что затрудняет определение наилучших оценок параметров и обучение методов;

– чрезвычайно велик объем вычислительных операций, используемых для анализа и обработки текстовых документов, что делает процесс классификации крайне трудоемким и дорогостоящим;

– получаемая матрица «документ – термин» оказывается сильно разреженной, так как большое число терминов встречается только в нескольких или в одном документе;

– несистематизированная информация не имеет общепринятых правил и единого текстового формата, что делает анализ и обработку документов практически невозможным без разработки комплексной модели процесса обрабатывающего текстовую информацию, в отличие от систематизированной информации, которая, как правило содержит фактические сведения, представленные числами.

Для создания эффективных систем управления информацией требуется совместное применение методов классификации на основе машинного обучения и методов, основанных на знаниях. Поскольку содержимое и состав анализируемых документов постоянно изменяется, и одним из направлений адаптации к этой динамике является использование данных методов. Целью методов машинного обучения для задачи классификации текстовых документов является построение модели классификации, основанной на обучающем наборе, а далее применении построенной модели для предсказания набора или одного класса, релевантных для нового документа. Представленный подход обеспечивает качество классификации, сравнимое с качеством классификации, производимой человеком.

В задачах текстовой классификации лучше всего зарекомендовали себя метод опорных векторов и метод построения алгоритмических композиций на основе бустинга (улучшения). Анализ российских и зарубежных публикаций показывает, что основные усилия исследователей направлены на построении классификаторов, обладающих высокими показателями точности и полноты. Стоит учитывать, что при разработке методов классифицирующих текстовую информацию, которая имеет высокую размерность, большое число терминов, описывающих документ, отдельное внимание требуют также вопросы быстродействия, то есть уменьшение времени, затрачиваемого на отнесение документа к одному из классов. В литературе практически нет работ, посвященных проблемам производительности классификаторов, как следствие, проблема быстродействия классификации ложатся на плечи разработчиков систем машинного обучения.

При решении практических задач реализация мер, направленных на повышение точности классификации, как правило, приводит к снижению быстродействия. Гарантия высокого быстродействия в крупных поисковых системах являешься особо важным свойством, для решения задач анализа поисковых запросов, предоставляемых пользователем в режиме реального времени, приоритизация URL (Uniform Resource Locator) адресов web страниц, число которых движется в направлении нескольких миллиардов, для их загрузки в поисковые машины. Стоит учитывать, что подобные системы принадлежат к классу высоконагруженных, то есть обладают либо большим объемом данных, либо большим количеством одновременных сессий пользователей, или совокупностью данных критериев. Для решения определенной задачи качество и быстродействие работы являются ключевыми факторами, влияющими на выбор метода, используемого для таких систем.

Таким образом, для построения системы является актуальным проведение исследований и разработка программных средств, классификации текстовых документов на основе методов машинного обучения, обеспечивающих высокое быстродействие при сохранении или повышении качества (полноты и точности) классификации.

Существующие алгоритмы классификации возможно применять не только для классификации текстовой информации, но также и для извлечения из них дополнительной информации. Наличие у системы функции, которой нет у составляющих ее частей и разных по типу и многочисленных связей между отдельно существующими элементами системы, является особенностью, проявляющейся при построении таких сложных систем.

Характеристики взаимодействий между элементами сложной системы определяются направленностью на выполнение функции системы, внутренними свойствами и определенным порядком.

Такие алгоритмы используют частоты *N*–грамм, скрытые Марковские модели и нейронные сети. Универсальные методы выделения основ, не опирающиеся на грамматику естественного языка, требуют обработки больших объемов текстовой информации для обучения системы или в процессе работы самой информационной системы, систематизирующей информацию. Это обстоятельство не позволяет достигать высоких скоростей и качества обработки текстов, что делает их плохо пригодными к использованию в реальных системах [4, 5].

Способность предоставлять результаты для любых слов, попадающихся в тексте, является существенным достоинством бессловарных морфологий, что достаточно удобно при анализе информации из незнакомой предметной области или содержащих много редко употребляемых или нелитературных слов. Однако в таких задачах, как диалоговые системы и машинный перевод, где отдают предпочтение точности анализа над его полнотой, бессловарные морфологии показывают свою недостаточную эффективность, так как корректность их работы, находится на уровне 90–95%, что привело к отказу от них. На практике существует достаточное количество задач, в которых вполне достаточно приблизительных знаний о связях между словами, решение которых предоставляется статистическим методам. Это задачи рубрикации, информационного поиска, частично – задачи реферирования, ряд других задач [5].

Методы бессловарных морфологий активно используются в словарных морфологиях для предсказания нормальной формы и набора параметров слов, которые отсутствуют в морфологическом словаре. Для этого необходимо проанализировать постфиксы слова и попытаться образовать нормальную форму исходя из полученного префикса и парадигмы, приписываемой постфиксу. Для этого по найденным постфиксам определяются постфиксы нормальной формы, которые присоединяются к полученным префиксам, и наборы морфологических параметров. Существенным недостатком является большое количество предсказанных вариантов [5].

Вывод. В результате проведенных исследований выполнен анализ принципов построения систем управления, систематизации и обработки текстовой информации, изучены особенности их работы. Формализация единого универсального системного способа представления знаний позволяет создать соответствующие алгоритмы и инструментальные средства для обработки знаний различного типа единообразным способом и с помощью единого формального аппарата, построение которого осуществляется на основе методов и алгоритмов машинного обучения в рамках анализа специализированной текстовой информации. Статистическая информация о словах позволяет использовать преимущественно известные способы, осуществляющие преобразование текста в пространство признаков.

Список литературы: 1. Российский семинар по Оценке Методов Информационного поиска [Электронный ресурс] Труды РОМИП 2010 Казань, 2010. – 214 с. – Режим доступа: http://romip.ru/romip2010/index.html (по состоянию на 21.03.2019). **2.** Майер–Шенбергер, В. Большие данные. Революция, которая изменит то, как мы живем, работаем и мыслим [Текст] / В. Майер–Шенбергер, К. Кукьер; М. 2014. – 17 с. **3.** Dwyer, B. Systems Analysis and Synthesis: Bridging Computer Science and Information Technology [Текст] / Barry Dwyer; Morgan Kaufmann, 2016. – P 488. **4.** Dangeti, P. Statistics for Machine Learning [Текст] / P. Dangeti; Packt Publishing, 2017. – P. 450. 5. Ayodele, T. O. Types of Machine Learning Algorithms. New Advances in Machine Learning [Текст] / T. O. Ayodele // – INTECH Open Access Pub., 2010. P. 19–48.

ПРИМЕНЕНИЕ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ РЕАЛИЗАЦИИ КОМПЛЕКСА ЛИНГВИСТИЧЕСКИХ УПРАЖНЕНИЙ В СИСТЕМЕ ОБУЧЕНИЯ ИНОСТРАННОМУ ЯЗЫКУ

Павлыш В.Н., Зайцева М.Н. *(ДОННТУ, ДОННУ, г. Донецк, ДНР)*
Тел. *+38 (062) 301 03 91; E-mail: pavlyshvn@mail.ru*

Abstract: *The problem of new information technologies application for exercise complex realizing in foreign language studying system is considered. The using of computer teaching and expert systems is most effective.*
Key words: *information, exercise, system, method, computer technology .*

Актуальность работы. В сфере образования за последние годы все большее распространение получает компьютеризированное обучение. Несмотря на достаточно большие сложности объективного порядка, связанные с нехваткой хороших компьютеров в нашей стране, их привлекательность как технического средства, способного в значительной мере усовершенствовать, облегчить и разнообразить учебный процесс в высшей школе, несомненно, возрастает. Значительную роль играет применение компьютерных технологий в сфере создания базы данных для обучающих систем.

В этой связи тема статьи является актуальной и важной при организации изучения студентами университетов иностранных языков.

Цель работы – совершенствование структуры и способов представления информационной базы компьютерных систем обучения иностранным языкам в вузе.

Основное содержание работы. Современное компьютеризированное обучение в таком виде, в каком оно чаще всего используется в наших вузах сегодня, все еще существенно напоминает программированное обучение, правомерность которого справедливо была поставлена под сомнение более десятилетия назад [I]. В последнее время большие ставки делаются на использование персональных компьютеров; в частности, при обучении иностранному языку они призваны оказать максимальную помощь студентам в самостоятельной внеаудиторной работе, однако заменить квалифицированного преподавателя техническим средством, не обладающим на современном этапе коммуникативными возможностями, вряд ли целесообразно.

Первый этап компьютеризированного обучения относится к концу 70-х годов. Студенты могли практиковаться в любое для них время, менять темп работы. При этом преподаватель оказывал им необходимую помощь, а также выводил на уровень трудности, который способствовал более эффективной подготовке студента.

Такие преимущества компьютеризированного обучения имеют и очевидные недостатки. Обучение строго запрограммировано: студент отвечает на вопросы, точно заданные машиной, выбирает ответ из ограниченного числа вариантов. При таком методе ограничены творческие способности студентов, так как они не имеют возможности самостоятельно сформулировать задачу, проверить собственные гипотезы, поразмыслить над учебным материалом. Из-за этих ограничений метод компьютеризированного обучения используется главным образом при изучении лексики и грамматики иностранного языка.

В последнее время психологи и педагоги, изучающие высшие уровни мышления, выразили неудовлетворенность ограниченностью компьютеризированного обучения. Именно эта неудовлетворенность вызвала к жизни другой подход к использованию в обучении персонального компьютера, получивший в Великобритании название «генеративный подход». Особенность его в том, что задача заранее не ставится, а задается серия инструкций, позволяющая компьютеру самому конструировать задачу в соответствии с создавшейся на данный момент ситуацией при взаимодействии студента с компьютером. В данном случае компьютер призван выполнять более активную роль, что создает возможность реализовывать творческие и исследовательские возможности студентов. Несомненно, что здесь велика роль самой программы, которая создает машине

четкий алгоритм действий. В то же время такая работа, носящая творческий характер, активно тренирует лингвистическую и педагогическую догадку учителя. Так, в процессе написания программы и при догадке преподаватель в новом свете видит и осознает привычные, общепринятые явления языка [2].

Если рассматривать этот процесс с точки зрения студента, то в данном случае открываются возможности самостоятельно и спонтанно создавать задачи и ориентировать их на нужды, потребности и интересы, т.е. открывается возможность самостоятельно планировать свое обучение.

Очевидно, что будущее за программами такого типа, ибо они создаются таким образом, что в процессе взаимодействия со студентом и на основе его машина сама создает более эффективные задачи.

«Генеративный подход» может быть реализован на практике аналитически и синтетически. Каждый из этих двух подходов, в свою очередь, реализуется с помощью двух стратегий: сознательного анализа и неосознанного. Смысл неосознанного анализа в том, что программа ПК манипулирует содержащимся в ней языком и вводится студентом. Это может быть языковой материал на уровне слов, предложений и текста. Затем программа осуществляет «механический» анализ языка посредством компонентов языка. Возможны четыре подобных типа манипуляций с языком: перегруппировка, устранение элементов, подстановка (замена) и вставка пропущенного. На этих типах манипуляций основаны многие языковые игры, например, программы по решению анаграмм (упражнение на уровне работы со словами с использованием метода перегруппировки) или программы на уровне работы с текстом по выстраиванию текста из произвольно разрозненных предложений. Еще одним примером является игра по восстановлению в тексте пропущенных слов, например, каждого седьмого [3].

Итак, если упражнения со словами или отдельными предложениями акцентируют внимание на языке как коде, то упражнения по работе с текстом подчеркивают его коммуникативную функцию, которая заложена в тексте. Можно использовать тексты разных уровней и различных жанров, ассоциативные тексты и не связанные между собой (от политических до технических текстов), при этом студент сам выбирает характер текста, компьютер при этом обеспечивает необходимую гибкость.

Теперь рассмотрим в чем суть осознанного анализа. Один из методов, который применяется в такого рода анализе, это распознавание моделей. Примером может служить упражнение по обучению правописанию. Данная программа позволяет распознавать не только ошибки в написании слов, но и классифицировать характер ошибок, например, пропуск в словах непроизносимых согласных или удвоение при написании и т.д. Такого рода программы можно с успехом реализовать и в аудиторной работе, когда компьютер служит «умной классной доской», с помощью которой осуществляется обсуждение данного материал в группе студентов. При этом можно ставить перед студентами задачу самим создавать новый принцип для получения ее решения или создать задачу, которую машина будет не в состоянии решить.

Тип стратегии неосознанного синтеза основан на способности компьютера принимать решения произвольным образом (случайно). Этот вид стратегии еще предстоит определить и исследовать. Пример такого рода упражнения: компьютер предлагает студенту вместе создать диалог. Однако машина признается, что ее собственные возможности в этом плане весьма ограничены. Об этом, например, свидетельствует созданный ею диалог «У доктора».

А. – Доброе утро. Чем могу быть Вам полезен?

В. – Привет, друг. Мама послала меня купить кусок мыла.

Компьютер обращается к студенту с просьбой помочь ему исправить ошибки в диалоге. Данная работа требует от студентов лингвистических навыков, умения манипулировать собственно языком, а не словами или отдельными предложениями. Данный вид упражнений можно применять как для написания диалогов, так и программ, писем,

докладов и т.д. Использование программ такого рода имеет большие возможности при моделировании реальных разговорных ситуаций, на основе которых создаются новые диалоги [4, 5].

С одной стороны, возможность достаточно общим образом описывать феномены, относящиеся ко многим естественным языкам, то есть типологическая адекватность, а с другой стороны – удобство отображения феноменов естественного языка понимается под лингвистической естественностью. Представление в виде набора последовательно работающих процессов является следствием представление системы автоматической обработки текстов [5].

На различных уровнях осуществляется рассмотрение текста на естественном языке: «слов», «отдельных знаков», «текста в целом», «предложений».

Каждый уровень, различных разделов лингвистики является объектом рассмотрения, а именно [4]:

– «морфология»;
– «синтаксис»;
– «семантика».

«Морфология (от греческого «учение о форме») – раздел лингвистики, изучающий слова естественных языков и их значимые части – морфемы». Описание внутренней структуры и определение слова как особого языкового объекта входит в задачи морфологии. Области наиболее частого деления морфологии определяются в соответствии с двумя критериями: грамматическую семантику, изучающую свойства грамматических морфологических значений и категорий, другими словами морфологически выражаемое словоизменение и словообразование языков мира и формальную морфологию (морфемику), в центре которой находятся понятия морфемы и слова [5].

Совокупность правил грамматики языка, относящихся к построению единиц более протяженных, чем слово, – предложений и словосочетаний – определяют синтаксис в традиционном понимании. Задачей теоретического синтаксиса является часть общей теории грамматики, заключающейся в выделении универсального, то есть свойственного всем языкам компонента синтаксических правил и определению пределов того разнообразия, которое проявляют языки в области синтаксиса [4, 5].

Семантика – анализ отношения между миром и языковыми выражениями, воображаемым или реальным, а также совокупность таких отношений и само это отношение. Данное отношение заключается в том, что языковые выражения (словосочетания, слова, тексты, предложения) обозначают то, что есть в мире, а именно: качества или свойства, предметы, способы совершения действий, действия, ситуации и их последовательность и отношения.

Лингвистические процессы последовательно обрабатывающие получаемую информацию являются компонентами составляющими структуру систем анализа текстов.

Дискурс–анализ (прагматический анализ) является еще одним этапом анализа текста. Определение цели, которую преследует автор при изложении своих мыслей его основная задача. Но стоит учитывать, что данный этап не включен в процесс построения систем автоматической обработки текстов.

Рассмотрим более подробно каждый из этапов.

Графематический анализ сводится к совмещению с морфологическим анализом и выполнению только лексического анализа. Токенизация (лексический анализ) – выделение в тексте цифровых комплексов, слов, формул, знаков препинания и т. д. Токенами или лексемами называют все выделенные элементы**.**

Иногда осуществляют деление текста на более крупные, чем отдельные единицы, слова, иногда осуществляется путем выделения отступов, знаков препинания, пробелов, которые служат ориентирами для разбиения абзацев и предложений.

Сегментация является подзадачей графематического анализа, которая заключается в поиске границ между словами в тексте без пробелов (например, на японском или китайском языках).

Фрагментационный анализ ставит своей целью деление предложения на неразрывные фрагменты (синтаксические единства), большие или равные словосочетания (синтаксическая группа), и установление частичной иерархии на множестве этих единств. Возможные типы фрагментов: главные предложения, придаточные предложения в составе сложного, причастные, деепричастные и другие обособленные обороты [64]. Часто этот этап совмещен с синтаксическим анализом.

Важной задачей фрагментационного анализа является установление иерархии. Любое простое предложение может быть «разорвано» «вклинивающимися» деепричастными или причастными оборотами, или придаточными предложениями, которые, также могут быть «разбиты» другими оборотами. Порой «куски» цельного высказывания находятся на значительном расстоянии друг от друга, а глубина вложения таких «клиньев» теоретически не ограничена [5].

Часто этап фрагментационного анализа совмещен с синтаксическим анализом, но так же выделяют отдельный этап, для сокращения времени работы синтаксического анализатора. В таком случае предложение по фрагментам поступает на вход синтаксическому анализу.

Синтаксический анализ осуществляет построение групп в предложении. Основная задача синтаксического анализатора – удаление значительной части «морфологического шума» и омонимичности словоформ. Важно, чтобы при синтаксическом анализе не появлялись лишние синтаксические связи, которые может допускать морфология. Это связано с морфологической неоднозначностью [5].

Цель семантического анализа – построить семантический граф текста. На этапе семантического анализа, в отличие от морфологического и синтаксического, появляется формальное представление смысла текста. В сферу семантического анализа входит построение семантической интерпретации слов и конструкций и установление «содержательных» семантических отношений между элементами текста, которые уже не ограничены размером одного слова.

Именно на этапе семантического анализа из всех возможных получается наиболее полное и законченное представление текста. Самой трудно решаемой задачей из пяти перечисленных в автоматической обработке текстов является семантический анализ.

Вывод. Таким образом, обучение иностранному языку с помощью различных упражнений (компьютерных программ) имеет неограниченные возможности, которые во многом еще предстоит разрабатывать. Большие надежды в этом возлагаются на преподавателей-практиков, которые могут выдвигать новые оригинальные идеи и реализовывать их с помощью специалистов-программистов. Такой союз позволит обеспечить достижение максимальной эффективности от применения компьютера в области обучения иностранному языку.

Список литературы: 1. Бринк, Х. Машинное обучение [Текст] / Х. Бринк, Дж. Ричардс, М. Феверолф; СПб.: Питер, 2017. – 336 с. **2.** Флах, П. Машинное обучение [Текст] / П. Флах; Наука и искусство построения алгоритмов, которые извлекают знания из данных. ДМК Пресс, 2015. – 402 с. **3.** Farrar, C. R. Structural Health Monitoring: A Machine Learning Perspective [Текст] / C. R. Farrar, K. Worden // Wiley, 2013. – P. 643. **4.** Павлыш В. Н., Зори С. А., Бурлаева Е. И. Задача классификации информации при формировании баз данных в компьютерных обучающих системах. / Проблемы искусственного интеллекта, №4 (11).– Донецк, 2018.– С 71–81. **5.** Бурлаева Е. И., Зори С. А. Сравнение некоторых методов машинного обучения для анализа текстовых документов. /Проблемы искусственного интеллекта, №1 (12).– Донецк, 2019.– С 42–51.

ПРИМЕНЕНИЕ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ В СИСТЕМЕ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ ГИДРАВЛИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА АНИЗОТРОПНЫЙ УГОЛЬНЫЙ ПЛАСТ

Павлыш В.Н., Лазебная Л.А. *(ДОННТУ, г. Донецк, ДНР)*
Тел. *+38 (062) 301 03 91; E-mail: pavlyshvn@mail.ru*

Abstract: *The problem of anisotropy coal stratum reaction on hydraulic treatment imitation by mathematical modeling in automatic control system is considered. The using of computer technology is most effective.*
Key words: *mathematical modeling, imitation, system, control, computer technology.*

Актуальность работы. Метод обработки угольных пластов в различных режимах соединениями, обладающими свойством текучести, является одним из важнейших способов решения проблемы борьбы с проявлениями вредных и опасных свойств пластов при подземной угледобыче. Для обеспечения эффективности использования этого метода необходимо осуществить выбор или разработку математической модели, учитывающей специфику анизотропного пласта как фильтрующей среды. Поскольку угольный пласт физически недоступен для прямого исследования, необходимо применять имитационные математические модели, отражающие реакцию пласта на внешнее воздействие. В этой связи тема работы является актуальной.

Цель работы – обоснование имитационных моделей для исследования реакции угольного пласта на гидравлическое воздействие без непосредственного контакта с нетронутым массивом.

Основное содержание работы. Существенной особенностью угольного пласта как объекта воздействия, осуществляемого для целенаправленного изменения его состояния, является то, что он «закрыт» от непосредственного наблюдения, определить характеристики пласта без вмешательства в его структуру невозможно. Фактически, в данном случае объект воздействия – это угольный массив с ненаблюдаемыми параметрами, что требует нестандартных решений при реализации управления процессом воздействия [1].

Вместе с тем, в процессе воздействия имеет место необходимость отслеживать результаты обработки, чтобы обеспечить направленное изменение состояния обрабатываемого массива. Реализация управления такими процессами, использующая данные о внешних воздействиях, возможна только в том случае, когда имеется модель объекта или возможность ее построения в процессе воздействия, основываясь на результатах контроля технологических параметров (давление нагнетания P и скорость его изменения dP, расход нагнетаемого агента или темп нагнетания и скорость его изменения Q, dQ) и тем явлениям, которые можно наблюдать (в частности, пиковые всплески значений параметров, прорывы нагнетаемого агента и т.п.). В этой связи стоит задача разработки адекватных моделей, по которым можно оценить состояние объекта и получить информацию о результатах воздействия.

Для того, чтобы система автоматического управления (САУ) была эффективной в течение всего времени обработки пласта с целью снижения пылеобразования и газовыделения, модели необходимо использовать в режиме реального времени, а с другой стороны, фильтрационные характеристики пласта являются фактически случайными величинами, значения которых задаются изначально по усредненным данным геологоразведки. В создавшихся условиях принят следующий подход [2].

Разрабатываемая САУ в своем составе использует две модели:

- исходная модель горного массива с заложенными в нее характеристиками, полученными из геологических данных;

- прогнозная модель, отражающая ожидаемое состояние на текущий момент, исходя из информации о результатах воздействия в реальном времени.

Такой подход позволяет уйти от процедуры идентификации параметров объекта воздействия (коэффициент фильтрации, эффективная пористость, коэффициент анизотропии и др.).

Поскольку фактические значения проницаемости пласта в каждый конкретный момент определены быть не могут, ставится задача прогноза изменения фильтрационных характеристик на основании математической модели, учитывающей стохастический характер изменения проницаемости.

Физика процесса такова, что в массиве происходят фазовые переходы, свидетельствующие об изменениях в структуре обрабатываемой зоны пласта. Одним из ключевых показателей, отражающих резкие изменения структуры на коротких промежутках пространства и времени, является наличие пиковых всплесков значений параметров воздействия, по величине и длительности которых формируется оценка состояния, используемая в прогнозной модели, а также для коррекции параметров базовой (исходной) модели.

Отмечаемые пиковые всплески, не будучи своевременно учтены и скомпенсированы, могут вызвать ряд негативных последствий:

- гидроудары в гидропневматической системе с возможным выходом из строя технологического оборудования;
- затраты на восстановление работоспособности системы и возможно необходимый ремонт оборудования;
- снижение эффективности воздействия на угольный пласт;
- дополнительные затраты энергии и материальных ресурсов.

Данные, полученные по прогнозной модели, закладываются в исходную модель, которая корректируется в режиме реального времени и является базовой для расчета заданий на параметры управляющей системы, предназначенные для осуществления последующих циклов воздействия. Скорректированные данные записываются в БД и могут быть впоследствии использованы при управлении обработкой последующих участков пласта [3].

Следует отметить, что по результатам воздействия может быть фактически определена структура обрабатываемого пласта, однако эта картина формируется уже после реализации процесса, т.е. когда объект воздействия фактически разрушен. Это лишний раз говорит о том, что управление подобным процессом возможно исключительно с применением математических моделей, которые закладываются в структуру САУ. В процессе функционирования они корректируются и могут быть использованы в режиме обучающих при построении соответствующих алгоритмов обучения и настройки систем управления воздействия на новые объекты.

Таким образом, математическое моделирование является базовым атрибутом системы автоматического управления рассматриваемым сложным динамическим процессом.

С точки зрения гидродинамики, особенностью процесса нагнетания жидкости в угольный пласт является то, что фильтрация происходит в среде, первоначально не заполненной жидкостью, тогда как большинство моделей напорной фильтрации построены для насыщенных жидкостью пористых сред. Учет этого факта приводит, во-первых, к нестационарности процесса фильтрации, во-вторых, к необходимости введения дополнительных условий для вычисления координат фронта движущейся жидкости, что существенно усложняет решение и ограничивает область применения модели.

Для жесткого режима фильтрации движение жидкости согласно данной модели подчиняется уравнению Лапласа [4].

$$div\left[k_{\phi}\, grad P(x, y, z)\right] = 0, \tag{1}$$

где k_{ϕ} - коэффициент фильтрации, зависящий от координат.

На скважине задается режим давления

$$P\big|_{S_i} = p_i(t) \tag{2}$$

или дебита

$$-\iint \frac{k}{\mu}\frac{\partial P}{\partial n}ds = Q_i(t), \tag{3}$$

а на поверхности фронта движущейся жидкости – условие

$$\frac{\partial P}{\partial t} - \frac{n_э \mu}{k}\left[\left(\frac{\partial x}{\partial t}\right)^2 + \left(\frac{\partial y}{\partial t}\right)^2 + \left(\frac{\partial z}{\partial t}\right)^2\right] = 0 \tag{4}$$

На основе данной модели был выполнен расчет параметров предварительного увлажнения как для изотропного, так и для анизотропного пласта. Однако в последнем случае учитывалась только анизотропия в плоскости, перпендикулярной напластованию, при допущении, что в этой плоскости область, занятая жидкостью, представляет собой эллипс.

Таким образом, для исследования движения жидкости в угольном пласте с неупорядоченным распределением коэффициента проницаемости в условиях взаимодействия встречных потоков необходима разработка математической модели, учитывающей специфические особенности процессов, происходящих при гидравлическом воздействии на угольный пласт, в первую очередь – конечность скорости движения фронта фильтрации.

Математическая модель основывается на уравнении параболического типа. Для численного решения применяется метод конечных разностей.

Исходное уравнение записывается в виде:

$$\frac{\partial \mathrm{P}}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x}\left[k(\mathrm{P})\frac{\partial \mathrm{P}}{\partial x}\right]; \tag{5}$$

В качестве начальных условий задаются:

а) давление на скважине в начальный момент

$$P(x,t)\big|_{\substack{t=0\\x=0}} = P(0,0) = P_c; \tag{6}$$

б) распределение давления на отрезке (0,L] при *t=0*:

$$P(x,t)\big|_{\substack{t=0\\0<x\le L}} = P(x,0); \tag{7}$$

По смыслу, начальное распределение давления, очевидно, равно давлению газа в пласте:

$$P(x,0) = P_0;$$

Краевые условия.

На левом конце (*x=0*) задается давление на скважине или темп нагнетания, причем эти величины могут быть либо постоянными, либо являться функциями времени:

$$P(x,t)\big|_{\substack{x=0\\t>0}} = P(0,t) = P_c(t); \tag{8}$$

или

$$\frac{k}{\mu}\cdot\frac{\partial P}{\partial x}\bigg|_{x=0} = cq; \tag{9}$$

где q - удельный расход (расход на единицу площади фильтрующей поверхности); c - коэффициент приведения, зависящий от размерности величин, входящих в выражение (2.10).

На правом конце (*x=L*) условия определяются схемой, а именно:

а) если на расстоянии L от нагнетательной скважины пробурена отточная и исследуется движение жидкости от нагнетательной к отточной скважине, то в точке *x=L* задается постоянное давление, равное давлению на выработке (обычно считают его равным атмосферному):

$$P(x,t)\big|_{\substack{x=L\\t>0}} = P(L,t) = P_K.; \tag{10}$$

такое же условие задается, если рассматривать фильтрацию в сторону выработки, но при этом надо учитывать влияние опорного давления [5];

б) если исследовать движение жидкости по мощности пласта в сторону кровли (почвы), то на границе задается условие непроницаемости:

$$\left.\frac{\partial P}{\partial x}\right|_{x=L} = 0. \qquad (11)$$

Решая уравнение (5) с начальными условиями, выбранными из (6) – (11) в соответствии с конкретной задачей исследования, можно найти распределение давления на отрезке [0,L] в любой момент времени, что дает возможность рассчитывать параметры соответствующей схемы воздействия на пласт. При этом, как указывается в [5], решив задачу при некоторых нормированных условиях, можно получить решение большого класса задач, переход к которым осуществляется обратным пересчетом нормированных решений.

Поскольку коэффициент $k(p)$ является функцией давления, необходимо применять итерационный процесс. В качестве первого приближения задается значение давления на предыдущем шаге по времени, затем итерационный расчет повторяется до тех пор, пока не будет достигнута заданная точность.

Таким образом, исходя из начальных условий, можно рассчитать распределение давлений в любой момент времени. Критерием окончания может служить момент достижения фронтом фильтрации границы отрезка 0L. Для контроля за ходом расчета можно использовать метод материального баланса и другие методы.

Решение задачи в «одномерной» постановке даёт возможность получать любые решения при соответствующей адаптации.

В случае исследования процесса обработки угольного массива в плоскости *Oxy* необходимо использовать «двумерную» модель [5].

$$\frac{\partial p}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x}\left[k(p)\frac{\partial p}{\partial x}\right] + \frac{\partial}{\partial y}\left[k(p)\frac{\partial p}{\partial y}\right].$$

Вывод. Таким образом, сформированы детерминированные математические модели процесса гидравлического воздействия на угольный пласт, в основу которых положены уравнения нелинейно-упругой фильтрации жидкости в сплошной среде.

Методом математического моделирования показано, что процесс увлажнения угольного пласта при гидравлическом воздействии через одиночную скважину обуславливает высокий уровень вариации прироста влажности в обрабатываемом массиве. Повышение равномерности увлажнения обеспечивается учетом коэффициента проницаемости пласта как переменной величины стохастического характера.

Математические модели процесса гидравлического воздействия на угольный пласт составляют математическое обеспечение системы автоматического управления обработкой анизотропных массивов.

Список литературы: 1. Математические модели и вычислительные методы в теории и практике проектирования систем угольных шахт: монография / Гребёнкин С.С., Мельник В.В., Павлыш В.Н., Рябичев В.Д., Кузнецов Ю.Н., Пефтибай Г.И., Медгаус В.М., Волошко Г.И. //под ред. В.Н. Павлыша и С.С. Гребёнкина. - Луганск: «Ноулидж» , 2017.– 291с. **2.** Гидродинамическое воздействие на газонасыщенные угольные пласты / А.Ф. Булат, К.К. Софийский, Д.П. Силин и др. – Днепропетровск, 2003. – 220 с. **3.** Павлыш В.Н., Гребенкин С.С. Физико-технические основы процессов гидравлического воздействия на угольные пласты / Монография. – Донецк: «ВИК», 2006. – 269 с. **4.** Павлыш В.Н., Штерн Ю.М. Основы теории и параметры технологии процессов гидропневматического воздействия на угольные пласты / Монография.– Донецк: “ВИК”, 2007. – 400 с. **5.** В.Н. Павлыш Развитие теории и совершенствование технологии процессов воздействия на угольные пласты: монография. – Донецк: РВА ДонНТУ, 2005.– 347 с.

ПРИМЕНЕНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ В СИСТЕМЕ АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ АППАРАТОВ КОНВЕКТИВНОГО ТИПА

Павлыш В.Н., Перинская Е.В. *(ДОННТУ, г. Донецк, ДНР)*
Тел. *+38 (062) 301 03 91; E-mail: pavlyshvn@mail.ru*

Abstract: *The problem of convective type apparatus parameters modification using mathematical modeling and automatic projecting systems is considered. The computer technology application as process simulation is most effective.*
Key words: *process. mathematical model, parameter, project, system.*

Актуальность работы. На многих предприятиях в составе технологического оборудования эксплуатируются машины и аппараты, содержащие узлы конвективного типа, а именно устройства, осуществляющие перемешивание неоднородных материалов, состоящих из жидкой и твердой фазы (технологические линии химических производств, предприятия строительных материалов, технологические процессы обогащения полезных ископаемых и т. п.). При этом качество конечного продукта во многом зависит от эффективности работы конвективных узлов, в результате стоит общая проблема расчета оптимальных параметров рассматриваемых аппаратов, что непосредственно связано с важной практической задачей повышения производительности и качества продукции. Кардинальным направлением решения этой проблемы является применение математического моделирования и систем автоматизированного проектирования.

В этой связи разработка систем автоматизированного проектирования с применен6ием детерминированных математических моделей процессов и обоснование с их применением эффективных параметров оборудования является актуальной научно-технической задачей, имеющей отраслевое значение.

Цель работы – обоснование структуры и разработка математического обеспечения системы автоматизированного проектирования аппаратов конвективного типа.

Основное содержание работы. Среди средств интенсификации процессов исследования и проектирования выделяются системы автоматизированного проектирования. С этой целью разрабатывается подсистема автоматизированного проектирования технологических схем, призванная повысить качество проектов за счет эффективного применения компьютерных технологий для реализации трудоемких рутинных функций [1].

Процесс проектирования включает ряд этапов, в том числе рассмотрение и оценка вариантов проектов, обоснование и верификация принимаемых проектных решений. По мере усложнения технологий, расширения числа возможных вариантов проектов возникает необходимость автоматизации процесса проектирования с применением методов математического моделирования и ЭВМ [2].

На рис. 1 приведена функционально-логическая схема системы автоматизированного проектирования (САПр) технологии процесса.

На основании построенной математической модели могут быть разработаны рекомендации, предназначенные для работников служб и подразделений предприятий, выполняющих работы по проектированию и эксплуатации технологических схем и оборудования.

Базовая компьютерная программа разработана для численного моделирования гидродинамических процессов при работе однолопастных машин конвективного типа.

Уравнение в безразмерных величинах имеет вид:

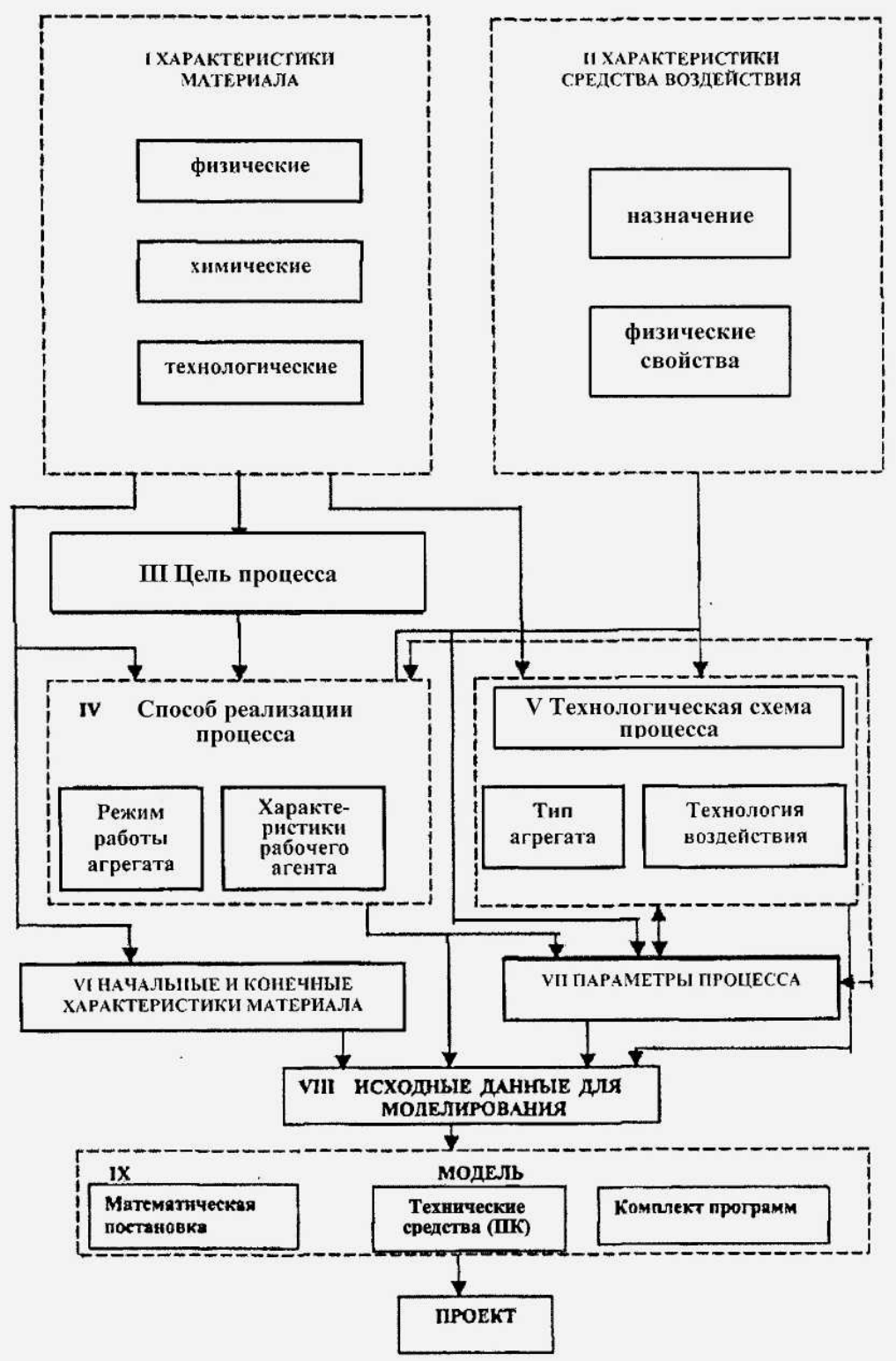


Рис. 1. Функционально-логическая схема системы автоматизированного проектирования технологических схем

$$\frac{1}{T}\cdot\frac{\partial C}{\partial t}=\frac{1}{l\cdot h}\cdot\frac{\partial \psi}{\partial y}\cdot\frac{\partial C}{\partial y}-\frac{1}{l\cdot h}\cdot\frac{\partial \psi}{\partial y}\cdot\frac{\partial C}{\partial x}+\frac{Д_L}{l^2}\cdot\frac{\partial^2 C}{\partial x^2}+\frac{Д_H}{h^2}\cdot\frac{\partial^2 C}{\partial y^2}+f_1+f_2+f_3$$

$$0<x<1,\quad 0<y<1,\quad 0<t<1$$

Начальное условие:

$$C(x, y, 0) = C_0$$

Граничные условия при отсутствии обмена с внешней средой:

$$C_x(0, y, t) = C_x(1, y, t) = 0$$

$$C_y(x, 0, t) = C_y(x, 1, t) = 0$$

На рис. 2 приведена обобщенная блок-схема алгоритма функционирования головной программы.

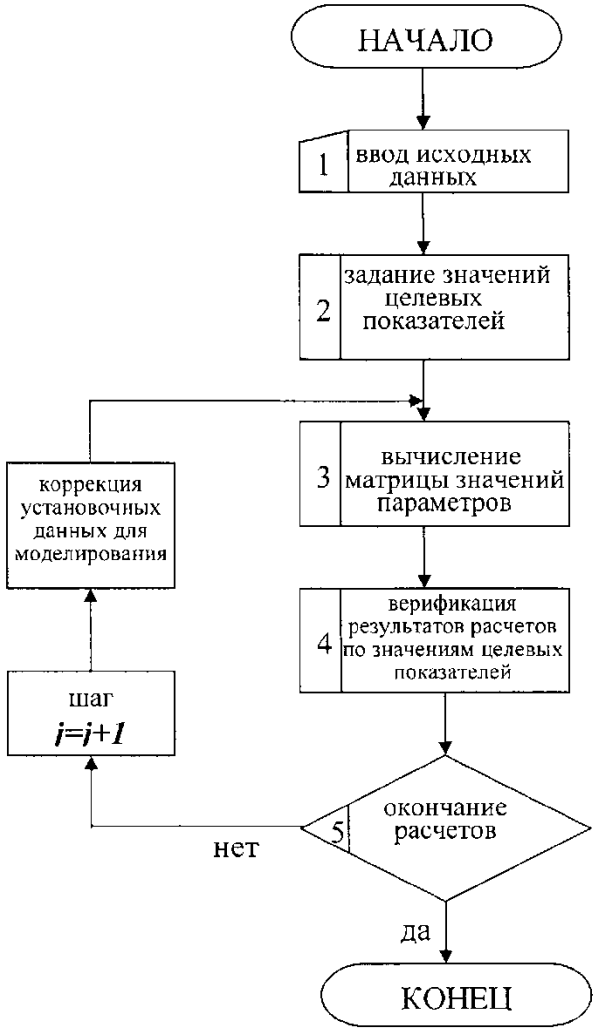


Рис. 2. Блок-схема алгоритма головной программы

Блок 1 содержит информацию о составе и свойствах материала, поступающего на обработку. Информация представляется в виде массива или файла с как можно более полным набором характеристик.

В блоке 2 помещается информация о тех характеристиках конечного продукта, которые должны быть обеспечены в результате переработки.

Блок 3 – основной расчетный блок. Здесь выполняется численная реализация всех математических моделей, включаемых в предметную область САПр. На данном этапе это математические модели распределения температуры материала в рабочем объеме аппарата, скорости частиц и концентрации обрабатываемого материала. Предложены детерминированные математические модели трех уровней для компьютерного моделирования процесса получения материалов в аппарате конвективного типа. Модели основаны на уравнениях в частных производных, краевые условия сформированы согласно технологическим условиям. Выполнена численная реализация моделей методом конечно-разностной аппроксимации.

Предложенные модели и методы их реализации позволяют проводить численное моделирование процессов и решать задачи совершенствования как конструктивных, так и технологических параметров.

К достоинствам данного метода следует отнести возможность широкой вариации параметров без проведения физических и натурных экспериментов, что удешевляет и ускоряет процесс проектирования новой аппаратуры.

Как результат работы блока получаются значения указанных параметров и вычисляются все другие величины, характеризующие показатели работы установки.

В блоке 4 выполняется верификация расчетных значений параметров по заданным значениям показателей, определяющих требования к конечному продукту. Вери-

фикация может быть построена как по принципу «консенсуса», когда отклонение хотя бы одного параметра вызывает необходимость коррекции исходных данных и повторения моделирования, так и по интегральному принципу с использованием, например, метода наименьших квадратов.

Аппроксимация расчетных соотношений основывается на линеаризации и максимальном упрощении уравнений, описывающих процесс.

В частности, можно построить критериальное уравнение роста диаметра кристалла d, исходя из следующей зависимости [1, 3]:

$$d \cdot \frac{q^{1/3}}{v^{1/3}} = k \cdot \left(C_1 \cdot \frac{v^{2/3} q^{2/3}}{\rho} \right)^{x_1} \left(C_2 \cdot \frac{v^{2/3} q^{2/3}}{\rho} \right)^{x_2} \left(C_3 \cdot \frac{v^{2/3} q^{2/3}}{\rho} \right)^{x_3} \left(C_4 \cdot \frac{v^{2/3} q^{2/3}}{\rho} \right)^{x_4} \times$$

$$\times \left(C_5 \cdot \frac{v^{2/3} q^{2/3}}{\rho} \right)^{x_5} \left(\frac{Q_1 \cdot q}{v\rho} \right)^{y_1} \left(\frac{Q_2 \cdot q}{v\rho} \right)^{y_2} \left(\frac{Q \cdot q}{v\rho} \right)^{y_3} \left(\frac{\omega \cdot v^{1/3}}{q^{2/3}} \right)^{n} \left(\frac{D \cdot q^{1/3}}{v^{2/3}} \right)^{z_1} \left(\frac{H \cdot q^{1/3}}{v^{1/3}} \right)^{z_2} \times$$

$$\times \left(\frac{T \cdot q^{2/3}}{v^{1/3}} \right)^{j} \left(\frac{\tau \cdot q^{2/3}}{v^{1/3}} \right)^{\rho} \left(\frac{Q_1}{Q_2} \right)^{\mu} (pH)^{\alpha}$$

где C_k - концентрации исходных веществ; Q_k - расход их поступления; Q - расход на выходе; ω - угловая скорость вращения мешалки; D, H - диаметр и высота рабочей камеры; T - время пребывания кристалла (старения) в аппарате; τ - время зарождения; υ – вязкость; q - ускорение свободного падения (т. е. учёт массовых сил); p – давление; θ_1 - температура смеси; θ_2 - температура окружающей среды.

Вывод. Таким образом, разработана структура системы автоматизированного проектирования специализированного оборудования для вспомогательного процесса получения сопутствующего материала при обогащении полезных ископаемых, разработан алгоритм функционирования головной программы математического обеспечения системы.

Основным преимуществом системы автоматизированного проектирования является то, что с ее помощью удается получить достаточно полную информацию о различных вариантах проекта, при этом избежать массы рутинных операций и необходимости проведения значительного количества дорогостоящих экспериментов.

Список литературы: 1. Математическое моделирование процессов обогащения полезных ископаемых. Монография/ Павлыш В.Н., Назимко Е.И., Корчевский А.Н., Перинская Е.В., Серафимова Л.И., Голиков А.С. // под общ. ред. проф. Павлыша В.Н. и проф. Назимко Е.И. – Донецк: «ВИК», 2014. – 466 с. **2.** Павлыш В.Н., Перинская Е.В. Математическое моделирование процессов функционирования специализированных аппаратов конвективного типа / международный рецензируемый научно-теоретический журнал «Проблемы искусственного интеллекта», 2015 № 1(15). – Донецк, ГУ ИПИИ, 2015. – с.89-98. **3.** Павлыш В.Н., Перинская Е.В. Математическое моделирование процесса конвективного перемешивания компонентов ферритового материала для электронной техники / Машиностроение и техносфера XXI века // Сб. трудов XXI Международной научн.-техн. конфер. Севастополь, 15 – 20 сент. 2014г. – Донецк: МСМ, 2014. – С. 202-206.

РАЗРАБОТКА КОМПЛЕКСА ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ НАНЕСЕНИЯ ПЛАЗМЕННЫХ ИЗНОСОСТОЙКИХ ПОКРЫТИЙ

Пантелеенко Ф. И., Оковитый В. А., Девойно О. Г., Сидоров В. А., Оковитый В. В., Асташинский В.М. *(Белорусский Национальный Технический Университет, Института тепло- и массообмена имени А.В. Лыкова НАН Беларуси г. Минск, Беларусь)*
Тел./Факс+375 17 293-95-99, niil_svarka@bntu.by, Тел./Факс +375 17 284-24-91, ast@hmti.ac.by)

Abstract: *A set of equipment has been developed for the formation of plasma wear-resistant coatings. The characteristics and parameters of the developed complex of equipment for the formation of plasma coatings, as well as the results of its testing are given. To implement new technological schemes for coating with enhanced performance characteristics, a whole range of new equipment has been developed, patented and manufactured. The experiments show that the PBG-1 plasmatron and the PPBG-04 powder feeder developed by the authors have a minimum 2–3 times higher working life when sputtering ceramic materials compared to the Plasma-Technic serial equipment, due to a change in the design of the cathode-anode the plasma torch assembly and the design of the feeder feed assembly, contributing to a uniform flow of the powder into the plasma jet and its better penetration. As a result, higher-quality plasma coatings with improved operational characteristics are obtained: adhesion strength increases by 1.3–2 times, material utilization factor by 1.5–1.6 times, microhardness by 1.2–1.4 times, porosity decreases by 2–2.5 times.*
Key words: *plasma ceramic coatings, plasmatron, powder feeder, operational characteristics, adhesion strength, porosity.*

1. Введение

Актуальность проблемы износа деталей машиностроительного назначения вызвала интенсивное развитие технологии восстановления и упрочнения рабочих поверхностей изделий. В настоящее время на предприятиях РБ различных отраслей промышленности восстановлению и упрочнению подвергается широкая номенклатура деталей машин и оборудования. Качество восстановленных с применением современных технологий деталей не уступает качеству новых, причем себестоимость таких деталей в среднем на 30–40% ниже. нанесения защитных покрытий обладает достоинствами и недостатками и имеет свою преимущественную область применения.

В связи с этим за последнее время в технике значительное развитие получили методы нанесения покрытий, позволяющие создавать на поверхности детали покрытия с заданным комплексом физико-механических и химических свойств, защищающих поверхность детали от внешних факторов. Каждый из методов нанесения защитных покрытий обладает достоинствами и недостатками и имеет свою преимущественную область применения. Целесообразность использования того или иного метода должна определяться в каждом конкретном случае с учетом имеющегося оборудования, распыляемых материалов, расходуемых газов и номенклатуры деталей, их сложности, технической и экономической эффективности. В последние годы все более широко применяются методы газотермического напыления, в которых наносимый материал вводится в высокотемпературную струю, расплавляется и переносится ею на обрабатываемую поверхность, образуя покрытие. Среди методов газотермического нанесения покрытий плазменное нанесение на воздухе, вследствие возможности формирования быстрозакаленных и метастабильных структур, универсальности, доступности и сравнительной дешевизны, представляет наибольший интерес для получения покрытий на различных деталях и оборудовании. Основной

характеристикой плазменных покрытий в большинстве случаев является прочность его сцепления с основой [1-3].

В общем случае покрытия представляет собой многослойную систему, включающую металлический подслой и внешний слой. Основной причиной разрушения плазменных покрытий являются термомеханические напряжения, возникающие вследствие рассогласования термического расширения металла основы и слоя покрытия, а также неравномерности распределения температурного поля в покрытии. Термомеханические напряжения усугубляются действием остаточных напряжений, возникающих в покрытии при напылении, и ослабляются эффектами пластичности и ползучести, реализующимися в металлическом подслое [4,5]. Получение износостойких структур возможно при плазменном напылении покрытий с определенными технологическими параметрами, обеспечивающими сверхбыстрое охлаждение расплава частиц напыляемого материала. Необходимо отметить, что для получения таких структур при плазменном напылении покрытий необходимо дальнейшее усовершенствование оборудования для нанесения плазменных покрытий.

2.Разработка оборудования для нанесения износостойких покрытий.

Наиболее часто для напыления плазменных покрытий используется оборудование фирмы “Плазма-Техник”. Существенными недостатками плазмотронов фирмы “Плазма-Техник” является ограниченный ресурс катодно-анодного узла и интенсивное турбулентное перемешивание потока плазмы с окружающим холодным газом, что приводит к уменьшению скорости и снижению температуры частиц напыляемого материала. В результате возрастает вероятность появления недогретых частиц в зоне формирования покрытия. А также протекание неконтролируемых химических реакций с воздухом. При жестких режимах работы: больших токах и расходах плазмообразующего газа происходит интенсивный износ катода. Приходится останавливать процесс напыления, выключать установку, разбирать плазменную горелку и менять катодно-анодный узел, что приводит к нестабильности наносимых покрытий. Поэтому авторами был разработан и запатентован аксиальный цанговый плазмотрон ПБГ-1 [4-7], который лишен этих недостатков, при износе электрода и увеличении межэлектродного зазора, электрод можно передвинуть в цанге, с помощью специального приспособления замерить межэлектродное пространство и продолжать процесс напыления. Применение в разработанном плазмотроне насадки позволяет улучшить защиту плазменного потока от воздействия атмосферы. Внутрь насадки вдоль ее стенок через систему отверстий в концевой части в насадку подается нагретый инертный газ (Ar). Воздух вокруг плазменной струи вытесняется, происходит дополнительное сжатие плазмы, в результате чего в покрытии снижается содержание кислорода и повышается эффективность осаждения материала. Применение в разработанном плазматроне насадки способствуют возрастанию эффективности нагрева и увеличению количества соударяющихся с подложкой композиционных частиц порошка в жидкофазном состоянии. Одновременно снижается нагрев подложки, что ускоряет теплоотвод и охлаждение на ней жидкофазных частиц. Все это относится к положительным факторам аморфизации формируемого покрытия. На рис.1 изображен основной вид разработанного плазмотрона.

На установке “Плазма-Техник” стандартной комплектации с порошковым питателем TWIN-10 производили испытания серийного плазмотрона и плазмотрона ПБГ-1, разработанного авторами. В качестве рабочего газа использовали азот. На первом этапе производили испытания плазмотронов на длительность непрерывной работы, при токе-450 А, напряжении-70V, расходе азота -35 л/мин (стандартный режим напыления оксидной керамики). Оба плазмотрона проработали непрерывно в течении 8

часов (испытания были прерваны после интенсивных пульсаций параметров тока и напряжения стандартного плазмотрона фирмы “Плазма-Техник”). После разборки были выявлены значительные изменения в геометрии катодно-анодного узла плазмотрона: изменения угла заточки катода ($\alpha_э$); оплавление и соответственно изменения диаметром притупления катода ($d_п$); оплавлению и вырывам внутри сопла-анода. Все это приводит к изменению заглубления электрода-катода в сопле $l_з$ и соответственно пульсации параметров плазмотрона.

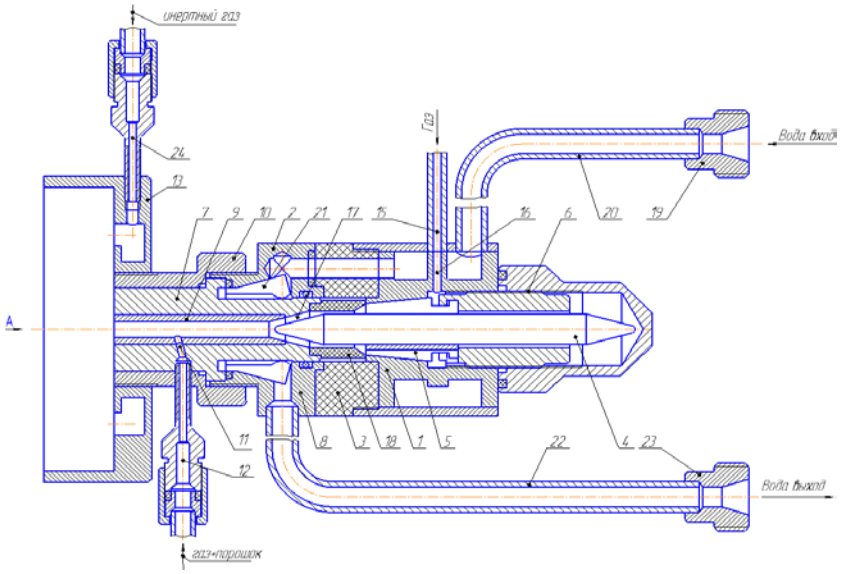


Рис. 1. Плазмотрон для нанесения покрытия с насадкой

В геометрии катодно-анодного узла разработанного плазмотрона ПБГ-1 заметные изменения не были выявлены. На втором этапе на тех же режимах плазмотроны работали по схеме: работа в течении 15 мин., отключение, включение и т.д. (15 мин.-технологическое время для напыления оксидной керамикой ролика – замасливателя). Плазмотрон фирмы “Плазма-Техник” вышел из строя через 4 часа работы (16 технологических циклов) - не происходил поджиг электрической дуги за счет сильного износа электродов. Испытания разработанного плазмотрона ПБГ-1 прекратили после 8 часов работы (32 технологических цикла). На третье этапе произвели напыления порошка оксида циркония на разных плазмотронах на одном и том же режиме: ток - 450 А; напряжение - 70V; расход азота -35 л/мин; дистанция напыления-110 мм; фракция порошка - 40-63 мкм; расход порошка - 3кг/час. После 30 минут напыления, плазмотрон фирмы “Плазма-Техник” пришлось отключить и прочистить сопло, даже при напылении мелкодисперсной керамики плазмотрон работает нестабильно. Характеристики покрытий из оксида циркония, напыленных на плазмотроне 0890- 6011 и разработанном плазмотроне приведены в таблице 1.

Таблица 1. Характеристики покрытий при испытании плазмотрона

Плазмотрон	Прочность сцепления, МПа	Пористость, %	Коэффициент использования материала, %	Микротвердость, МПа
плазмотрон “Плазма-Техник”	12,5	14	39	6400
ПБГ-1	25,4	5	61	8700

Порошковые питатели предназначены для подачи распыляемого порошка в плазменную струю. От стабильности работы этого устройства зависит качество

наносимого покрытия. Конструкции порошковых питателей столь же разнообразны, как и плазменных распылителей. Используемый для напыления порошок помещают в бункер (вместимости бункеров самые разные) питателя, расположенного на небольшом (~ 1 м) расстоянии от плазмотрона.

Потоком транспортирующего газа порошок подается к плазменному распылителю по эластичной трубке и через штуцер или специальное отверстие в канале сопла газопорошковая смесь вводится в плазменную струю. Расход подаваемого в распылитель порошка регулируется дозирующим устройством, в качестве которого используют инжекторы (расход порошка зависит от расхода транспортирующего газа), штоки с отверстием различной величины для порошка, вращающиеся вертикальные или горизонтальные барабаны с пазами для порошка, горизонтальные или вертикальные шнеки и т.п. Для улучшения сыпучести порошка и предотвращения его зависания в бункере используют электромагнитные, механические или пневматические вибраторы. В некоторых случаях порошок взмучивается транспортирующим газом. Наибольшую стабильность подачи порошка обеспечивают питатели с механической дозировкой. Порошок из загрузочного бункера порошкового питателя фирмы “Плазма-Техник АГ”, дно которого выполнено в виде перевернутого конуса, попадает на вращающийся и вибрирующий вдоль своей оси плоский диск, откуда ссыпается в инжекционное устройство порошкового питателя. К недостаткам порошкового питателя фирмы “Плазма-Техник” можно отнести трудность подачи мелкодисперсного порошка с плохой сыпучестью. Поэтому авторами был разработан и запатентован для нанесения покрытий на компактные материалы порошковый питатель ППБГ-04 [8, 9], позволяющий подавать порошок с размером частиц 1-2 мкм, а также имеет минимум регулировочных характеристик для использования при нанесении покрытий (рис.2).

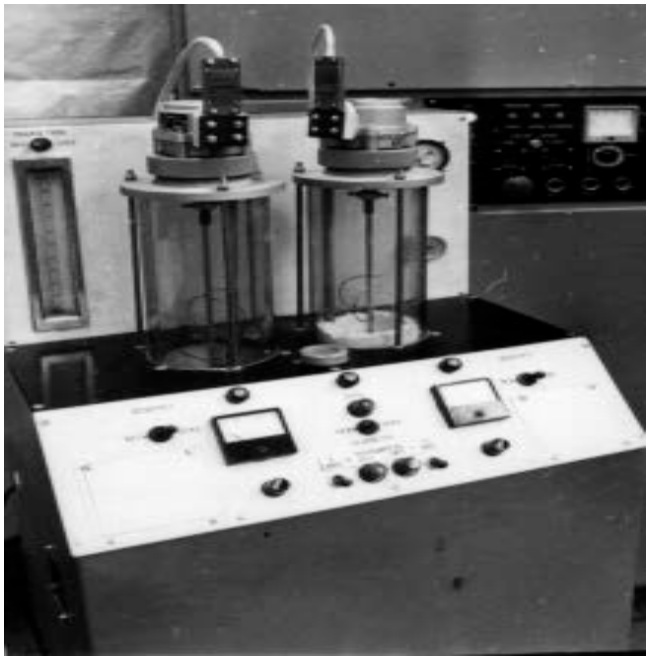


Рис. 2. Порошковый питатель ППБГ-04

Конструктивной особенностью испытываемого порошкового питателя является наличие двух цилиндрических бункеров емкостью 2,0 литра каждый и конической смесительной воронки. Каждый бункер соединен с воронкой трубкой с внутренним диаметром 12 мм. Через бункер и трубку проходит гибкий шнек, соединенный через редуктор с электродвигателем постоянного тока напряжением 27 вольт. Скорость вращения гибкого шнека варьируется от 0 до 140 об/мин. Вращение обеспечивается за счет транзисторного блока питания, обеспечивающего регулировку напряжения, подаваемого на электродвигатель от 0 до 27 вольт. Смесительная воронка соединена трубопроводом с каждым бункером выше уровня засыпаемого порошка. В нее также подводится сжатый газ. Порошок, засыпанный в бункеры гибкими шнеками, подается в смесительную воронку, где подхватывается тангенциально подводимым сжатым газом в виде газопорошковой смеси гибким трубопроводом и подается в распылительную головку. Соединительный трубопровод между смесительной воронкой и бункерами служит для уравнивания

давления газа в смесительной воронке и бункерах и предотвращает пульсацию подачи порошка за счет предотвращения вакуумирования бункеров по мере уменьшения объема порошка в них. Управление скоростью вращения гибких шнеков каждого бункера автономно и поэтому подача порошка из каждого бункера осуществляется поочередно или вместе. Если засыпать в бункеры разные порошки, то возможна из совместная подача с разным расходом в один трубопровод.

Производительность подачи порошка из каждого бункера регулируется в диапазоне от 0 до 2,5 л/час. На установке “Плазма-Техник”, в стандартной комплектации, производили испытания порошковых питателей TWIN-10 и ППБГ-04, разработанного авторами. В качестве рабочего газа при напылении использовали азот, при подаче порошка - воздух. На первом этапе производили испытания питателей на длительность непрерывной работы, при использовании порошка оксида циркония, с фракционным составом менее 50 мкм. Расход порошка-3 кг/час; расход подающего газа-3,5 л/мин. На питателе TWIN-10 вибратор включен на максимальном режиме-16 ед.

Порошковый питатель вышел из строя через 40 мин. работы, после разборки установлено, что шнек и приемный конус забиты плотно спрессованным порошком. Попытки наладить работу питателя при уменьшении или увеличении расхода порошка тоже не дали положительных результатов, питатель не пригоден для подачи мелкодисперсной керамики. Испытания разработанного питателя ППБГ-04, прекратили после 2 часов работы. На втором этапе производили испытания питателей на стабильное воспроизведение заданного расхода при повторном включении порошкового питателя. На тех же режимах питатели работали по схеме: работа в течении 15 мин., отключение, включение и т.д., для проверки стабильного воспроизведения заданного расхода при повторном включении порошкового питателя (15 мин.-технологическое время для напыления керамикой ролика –замасливателя). Питатель TWIN-10 не мог выйти на установленный режим подачи порошка уже после первого отключения, после 4-х отключений возобновить подачу порошка без разборки питателя не удалось. Питателя ППБГ-04 выдержал 10 отключений до прекращения эксперимента. На третьем этапе произвели напыления окиси алюминия с использованием разных питателей, на одном и том же режиме работы плазмотрона: ток-450 А; напряжение-70V; расход азота -35 лит./мин; дистанция напыления-110 мм; фракция порошка -50-63 мкм; расход порошка- 3 кг/час. Характеристики покрытий из оксида циркония, напыленных с использованием питателей TWIN-10 и ППБГ-04 приведены в таблице 2.

Таблица 2. Характеристики покрытий при испытании порошкового питателя

Питатель	Прочность сцепления, МПа	Пористость, %	Коэффициент использования материала, %	Микротвердость, МПа
TWIN-10	15,5	18	34	5800
ППБГ-04	20,1	10	56	7200

3 Заключение

1. Получение износостойких структур возможно при плазменном напылении покрытий с определенными технологическими параметрами, обеспечивающими сверхбыстрое охлаждение расплава частиц напыляемого материала. Для получения таких структур при плазменном напылении покрытий необходимо дальнейшее усовершенствование оборудования для нанесения плазменных покрытий. Для реализации новых технологических схем нанесения износостойких покрытий с

повышенными эксплуатационными характеристиками разработан, запатентован и изготовлен целый спектр нового оборудования.

2. Приведенные характеристики и параметры разработанного комплекса оборудования для формирования плазменных износостойких покрытий, а так же результаты его тестирования показали, что разработанные авторами плазмотрон ПБГ-1 и порошковый питатель ППБГ-04 имеют минимум в 2-3 раза выше ресурс работы при напылении керамических материалов по сравнению с серийным оборудованием фирмы "Плазма-Техник", за счет изменения конструкции катодно-анодного узла плазмотрона, использования насадки и конструкции подающего узла питателя, способствующих равномерной подаче порошка в плазменную струю и лучшего его проплавления.

Список литературы: 1. Пантелеенко, Ф. И. Формирование многофункциональных плазменных покрытий на основе керамических материалов / Ф. И. Пантелеенко, В. А. Оковитый // БНТУ-Минск. 2019.- 251 с. **2.** Оковитый, В. А. Формирование и исследование плазменных двухслойных композиционных покрытий (вязкий металлический слой NiCr и твердый ZrO_2) / Оковитый В. А., Пантелеенко Ф. И., Оковитый В.В., Асташинский В. М., Храмцов П. П., Черник М. Ю., Углов В. В., С.Б. Соболевский С. Б.// "Наука и техника", БНТУ – Минск. - 2018. Вып.1. - С.21-28. **3.** Оковитый, В. А. Технологические особености формирования плазменных порошковых покрытий из керамики с неравновесной структурой/ Оковитый В.А., Пантелеенко Ф. И., Асташинский В. М., Оковитый В. В.// "Наука и техника", БНТУ – Минск. – 2018. - Вып. 3. - С.183-189**. 4.** Плазмотрон для нанесения покрытий: пат. 14906 Респ. Беларусь, МПК С23С4/04. / Оковитый В. А., Шевцов А. И. Девойно О. Г., Оковитый В. В.; заявитель - ГНУ "Институт порошковой металлургии -№ a 20091066; заявл. 15.07.2009 опубл.30.10.10 // Афіцыйны бюл. Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2011. - № 4**. 5.** Плазмотрон для нанесения покрытия на внутренние поверхности деталей: пат. на полезную модель. 8930 Респ. Беларусь, МПК H 05H 1/00 / Оковитый В.В. заявитель – БНТУ. -№ u 20120574; заявл. 31.05.2012, опубл.28.02.2013// Афіцыйны бюл. Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2013. - № 1**. 6.** Плазмотрон для нанесения покрытия: пат. на полезную модель. 9423 Респ. Беларусь, МПК H 05H 1/00 / Оковитый В. В. заявитель – БНТУ. -№ u 20121081; заявл. 12.05.2012, опубл.30.08.2013// Афіцыйны бюл. Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2013. - № 4. **7.** Плазмотрон для нанесения покрытия: пат. на полезную модель. 10210 Респ. Беларусь, МПК H 05H 1/00 / Оковитый В.В. -№ и 20131083; заявл. 18.12.2013, опубл.30.08.2014// Афіцыйны бюл. Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2014. - № 4. **8.** Порошковый питатель для нанесения покрытий: пат. на полезную модель. 9665 Респ. Беларусь, МПК H 05H 1/00 / Оковитый В. В. -№ и 20130402; заявл. 08.05.2013, опубл.30.10.2013// Афіцыйны бюл. Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2013. - № 5. **9.** Порошковый питатель для нанесения покрытий: пат. 16809 Респ. Беларусь, МПК B 22C 9/08; B 23K 5/18 /. Оковитый В. А., Ильющенко А. Ф., Шевцов А. И., Асташинский В. М., Оковитый В. В заявитель – ГНУ "Институт порошковой металлургии". -№ a 20101357 ; заявл. 21.09.2010, опубл.28.02.2013// Афіцыйны бюл. Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2013. - № 1.

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОВЫХ ПРОЦЕССОВ ПРИ ТОЧЕНИИ С УЧЕТОМ ИЗНОСА РЕЖУЩЕЙ ЧАСТИ ИНСТРУМЕНТА

Петряева И.А., Безщекий П.Н., Гученко В.Ю., Недашковский А.П. *(ДонНТУ, г. Донецк, ДНР)*
Тел./Факс: +38 (062) 3050104; E-mail: irina_petryaeva@mail.ru

Abstract: *The article presents the methods for determining the temperature on the front and rear surfaces of the cutter analytically and by the finite element method in order to assess and predict the thermal state of the tool. A comparison of the temperature calculation results by these methods is performed. It is proposed to reduce temperatures on the front and rear surfaces of the instrument through the use of functionally-oriented coatings.*
Key words: *tool wear, front surface, rear surface, heat flow, cutting temperature, coating,*

Качество деталей в значительной степени определяется поверхностным слоем, формируемым под влиянием температурных процессов в процессе механообработки. Тепловые процессы определяют функционирование технологических систем, оказывая существенное влияние на работоспособность режущего инструмента и качество обработки деталей [1-3].

Распределение температуры на рабочих поверхностях режущего лезвия, является одной из важнейших характеристик тепловых явлений при эксплуатации инструмента и влияет на закономерности износа этих поверхностей. Инструментальные материалы сохраняют свои исходные свойства - механическую прочность, твердость, износостойкость при повышении температуры до значений, не превышающих их температуростойкости. При более высокой температуре в материале происходят структурно-фазовые превращения, вызывающие снижение его твердости. Следствием этого является уменьшение износостойкости, повышения интенсивности износа и сокращение периода стойкости инструмента.

Установлено, что особую трудность при анализе теплового состояния режущего инструмента представляет переменность параметров процесса резания, связанная с неизбежным изнашиванием лезвия. Вследствие этого источники теплоты на передней и задней поверхностях лезвия изменяются как по размерам, так и по интенсивности тепловыделения, что приводит к изменению тепловых потоков и температуры резания в течение периода стойкости инструмента при постоянстве всех прочих параметров. Анализ общих закономерностей изменения температур резания в зависимости от износа инструмента позволил обосновать критерий износа по задней поверхности, обеспечивающий минимальную температуру резания. Установлены аналитические зависимости значений критического износа h_0 от скорости резания V и подачи S в условиях черновой и чистовой обработок [4].

Температура резания в зависимости от износа $\Theta(h)$ рассчитывается как средняя температура на передней $\Theta_1(h)$ и задней $\Theta_2(h)$ поверхностях лезвия инструмента с учетом влияния износа на все параметры процесса резания [4]:

$$\begin{aligned}\Theta(h) &= \left[\Theta_1(h)l + \Theta_2(h)h\right]/(l+h);\\ \Theta_1(h) &= \left[q_1(h)M_1 l + q_2(h)N_2(h)h\right]/\lambda_u;\\ \Theta_2(h) &= \left[q_2(h)M_2(h)h + q_1(h)N_1(h)l\right]/\lambda_u,\end{aligned} \qquad (1)$$

где l - длина контакта передней поверхности лезвия со стружкой; h - износ по задней поверхности лезвия; $q_1(h)$ и $q_2(h)$ - плотности тепловых потоков на передней и задней поверхностях с учетом влияния износа; λ_u – коэффициент теплопроводности материала инструмента; $M_{1,2}(h)$, $N_{1,2}(h)$ - безразмерные функции, определяющие нагрев

контактных площадок на передней и задней поверхностях лезвия с учетом влияния износа.

Плотности тепловых потоков на передней $q_1(h)$ и задней $q_2(h)$ поверхностях лезвия инструмента в зависимости от теплофизических характеристик детали и инструмента и основных параметров процесса резания определяются с учетом износа следующим образом [4]:

$$q_1(h)=\frac{K_1K_3\lambda_u-K_2(h)N_2(h)h+K_1M_2(h)h}{K_3(h)K_4\lambda_u+M_2(h)K_4h-N_1(h)N_2(h)lh/\lambda_u};\ q_2(h)=\frac{(K_1-K_4q_1(h))\lambda_u}{N_2(h)h},$$

где $K_1=\frac{(1+c)\omega_\partial kb'q_\partial}{\lambda_\partial V}+\frac{K_{c1}q_{1T}}{\lambda_\partial}\sqrt{\frac{\omega_\partial kl}{V}};\ K_2(h)=\frac{(1+c)\omega_\partial kb'q_\partial T_\partial}{\lambda_\partial V}+\frac{K_{c2}q_{2T}}{\lambda_\partial}\sqrt{\frac{\omega_\partial h}{V}}$;

$K_3(h)=1{,}82K_{c2}\sqrt{\omega_\partial h/V}\,/\lambda_\partial$; $K_4=1{,}3K_{c1}\sqrt{\omega_\partial kl/V}\,/\lambda_\partial+M_1l/\lambda_u$.

Представление температуры резания (1) в безразмерном виде позволяет устанавливать общие закономерности ее изменения независимо от условий обработки $\Theta(h)=PT(\chi)$ [4]:

$$\begin{aligned}T(\chi)&=[T_1(\chi)+\chi\mu(\chi)T_2(\chi)]/(1+\chi);\\ T_1(\chi)&=M_1+\chi\mu(\chi)N_2(\chi);\\ T_2(\chi)&=N_1(\chi)+\chi\mu(\chi)M_2(\chi),\end{aligned}\qquad(2)$$

где $\chi = h/l$ - безразмерный износ; $\mu(\chi) = q_2(h)/q_1(h)$ – безразмерный коэффициент отношения плотностей тепловых потоков на передней и задней поверхностях лезвия; $P = q_1(h)l/\lambda_u$ – размерный коэффициент, учитывающий условия обработки; $M_{1,2}(\chi) = (4{,}88+2{,}64\eta_{1,2}{}^{0,5}\lg\eta_{1,2})\beta^{-0,85}$; $N_{1,2}(\chi) = (0{,}04+0{,}02\ \eta_{1,2}{}^{0,6}\lg\eta_{1,2})B_{1,2}(\chi)$ - безразмерные функции ($\eta_1 = b/l$, $\eta_2 = b/h$ ($\eta_{1,2}>1$)); β - угол заострения; $B_{1,2}(\chi)$ - специальные функции.

Первым этапом исследований является аналитическое определение температурного поля лезвия инструмента и температуры резания, что позволяет прогнозировать его тепловое состояние в зависимости от условий обработки.

В зоне резания имеет место переплетение путей движения потоков теплообмена через контактные поверхности инструмента. Рассматриваются они в виде источников интенсивностью q_1 и q_2. Интенсивность этих источников распределена по площадкам $b\ x\ 1_1$ и $b\ x\ l_2$ неравномерно. Аналитически определены величины плотности тепловых потоков, температурные поля лезвия инструмента и значения температуры резания в зависимости от изменяющейся величины износа по задней поверхности резца. Расчеты выполнены для следующих условий обработки: обрабатываемый материал – 30ХГТ, инструментальный материал – твердый сплав *Т15К6*; износостойкие покрытия - карбид титана *TiC*, нитрид титана *TiN*. Геометрические параметры инструмента: главный угол в плане $\varphi = 90°$, вспомогательный $\varphi_1 = 8°$, задний $\alpha = 7°$, передний $\gamma = 7°$. Режимы резания: глубина резания $t = 1$ мм, подача $s = 0.2$ мм/об, скорость резания $V = 200$ м/с. Расчет величин плотности тепловых потоков осуществлен с помощью математического пакета Mathcad Professional 15. Результаты расчета приведены в таблице 1.

Знак «-» у показателей плотность теплового потока на задней поверхности означает, что тепловой поток направлен из тела инструмента в деталь (рис. 1). Тепловой поток по задней поверхности увеличивается и при h=0,8 мм уже направлен в тело инструмента. При этом наблюдается незначительный рост температуры на задней поверхности инструмента (рис. 2) и снижение температуры резания в целом (рис. 3).

Таблица 1. Результаты аналитического определения тепловых процессов при резании в зависимости от величины износа по задней поверхности резца

Износ по задней поверхности h, мм	Плотность теплового потока на передней поверхности q1, Вт/м^{2}x10^8	Плотность теплового потока на задней поверхности q2, Вт/м^2 x10^8	Температура на передней поверхности Q1, ºС	Температура на задней поверхности Q2, ºС	Температура резания Q, ºС
0,1	3,028	-7,661	1137	512	1086
0,2	2,915	-5,146	1038	505	958
0,4	2,515	-2,496	869	506	774
0,6	1,931	-8,126	730	533	661
0,8	1,175	0,445	532	588	606

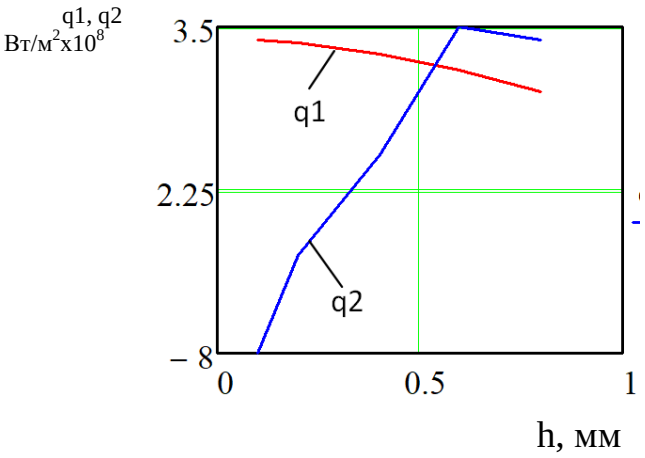


Рис. 1. Плотности тепловых потоков по передней q_1, и задней поверхности q_2

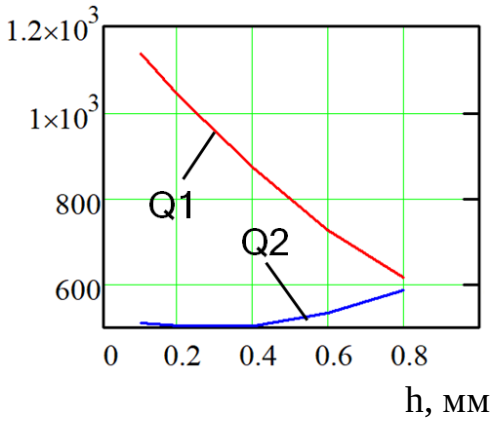


Рис. 2. Температура на передней Q1, и задней поверхности Q2

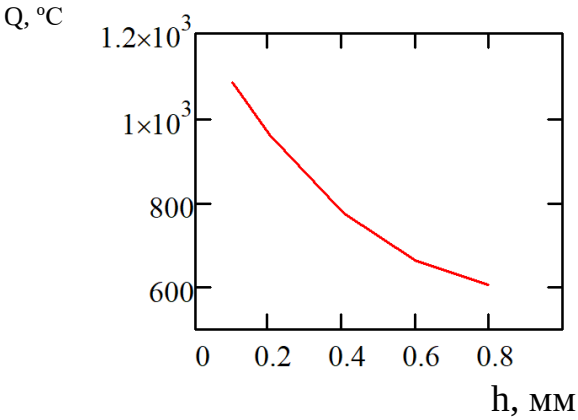


Рис. 3. Изменение температуры резания в зависимости от износа по задней поверхности

При этом, температура резания при h=0,1 мм, h=0,2 мм превышает предельно допустимую 800 °С для заданных материалов. Анализ теплового состояния резца в зависимости от изменяющейся величины износа по задней поверхности показал, что увеличение значения износа благоприятно сказывается на тепловом состоянии инструмента. Однако, увеличение износа по задней поверхности свыше h=0,2 мм сопровождается увеличением шероховатости обработанной поверхности выше заданной, что необходимо учитывать при назначении оптимальных режимов чистовой обработки.

Таким образом, результаты аналитического расчета параметров теплового состояния инструмента показали необходимость снижения температуры резания до

допустимого значения и снижения интенсивности износа по задней поверхности резца с целью обеспечения заданного качества обработанной поверхности.

Одним из способов исследования температурного состояния инструмента является использование программного пакета SolidWorks 2017 элементов как эффективного средства решения различных задач, в том числе исследования, расчета и анализа тепловых процессов в технических системах. Модель сделана в SolidWorks, а расчеты выполнены с применением расчетного модуля Simulation, который входит в этот программный пакет. Решение задачи определения теплового состояния резца, которое осуществляется с помощью данного программного пакета, позволяет сделать численный анализ тепловых явлений методом конечных элементов (МКЭ).

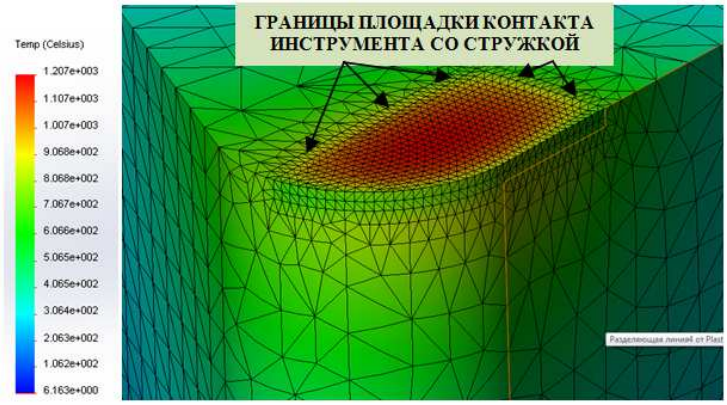


Рис. 4. Конечно-элементная модель резца с режущей пластиной ромбической формы

Получена конечно-элементная модель резца с режущей пластиной ромбической формы из твердого сплава без покрытия (рис. 4)

По результатам расчетов получены картины распределения температуры по поверхности резца в зависимости от величины износа по задней поверхности, которые отображают особенности нагружения передней и задней поверхностей в целом и функциональных зон этих поверхностей. На рисунке 5 в качестве примера приводим расчет температуры на рабочих поверхностях инструмента для значения износа по задней поверхности h=0,2 мм.

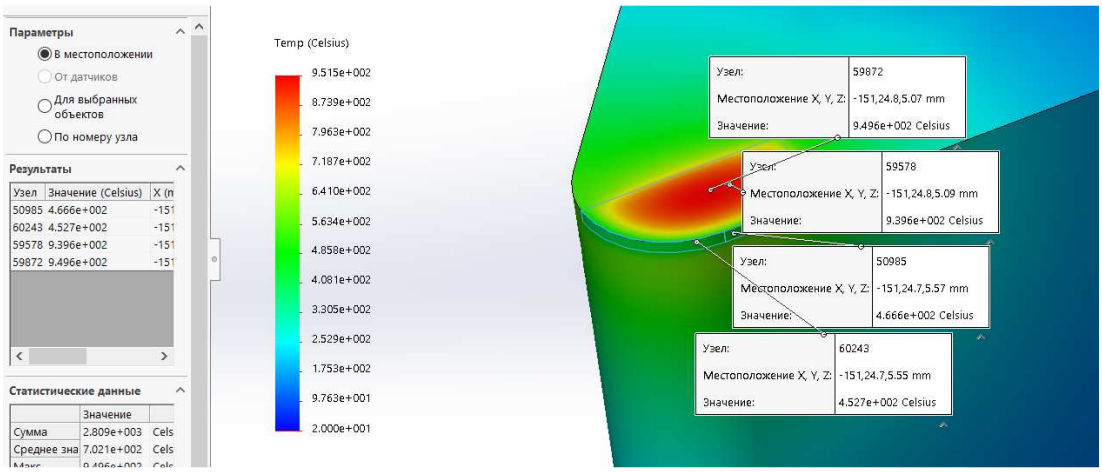


Рис. 5. Пример определения температурного состояния режущей части резца при значении износа по задней поверхности h=0,2 мм

Результаты остальных расчетов параметров температурного состояния инструмента, выполненные с помощью расчетного модуля Simulation для различных значений износа по задней поверхности сведем в таблицу 2.

Сопоставление результатов расчета температурного состояния режущей части инструмента показало, что разница между аналитическим и методом моделирования

для заданных условий обработки не превышает 8,9%, что позволяет считать результаты расчета температур достоверными, а также использовать представленную методику с целью оценки и прогнозирования теплового состояния инструмента.

Таблица 2. Сопоставление результатов температурных расчетов, выполненных аналитически и методом моделирования

Износ по задней поверхности h, мм	Результаты аналитического расчета		Результаты, полученные при моделировании	
	Температура на передней поверхности Q1, ºС	Температура на задней поверхности Q2, ºС	Температура на передней поверхности Q1, ºС	Температура на задней поверхности Q2, ºС
0,1	1137	512	1035	488
0,2	1038	505	951	466
0,4	869	506	854	475
0,6	730	533	721	520

Нанесение покрытий на режущую часть инструмента способствует уменьшению контактных нагрузок, снижению мощности тепловых источников и благоприятному перераспределению тепловых потоков, тем самым, уменьшая термомеханическую напряженность режущей части инструмента.

Представленная модель термомеханических нагружений позволяет выделить функциональные зоны превышения предельно допустимой температуры с целью обеспечения требуемых эксплуатационных свойств режущего инструмента – это передняя поверхность (уровень составляющих согласно функционально-ориентированного подхода [5]).

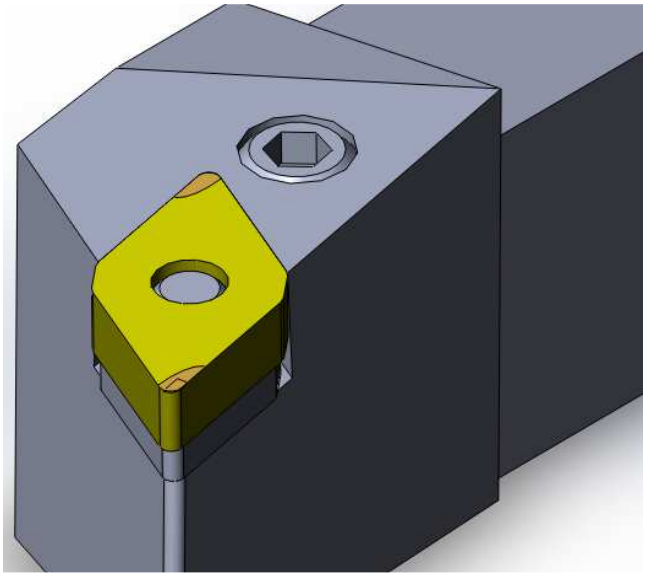


Рис. 6. Модель резца с режущей пластиной ромбической формы с функционально-ориентированными свойствами покрытия

Для уменьшения термомеханической напряженности в указанной зоне, на основании вышеуказанных принципов функционально-ориентированного подхода, предложено нанесение износостойких покрытий особой структуры. При этом на передней поверхности твердосплавной пластины с износостойким покрытием из карбида титана TiC зонально (область при вершине) целесообразно нанесение дополнительного слоя покрытия из нитрида титана TiN. Модель такого инструмента представлена на рисунке 6.

Так, на основании принципов функционально-ориентированного подхода [5]: структурного, функционального, топологического, количественного, адекватного структурно-функционального соответствия рационально нанесение износостойких покрытий зонально, чтобы исключить возможность возникновенияения нагружений, превышающих допустимые.

Покрытие карбида и нитрида титана являются базовыми при производстве твердых сплавов с износостойкими покрытиями, поскольку они зачастую входят в состав многослойных покрытий, и, как правило, представляют собой слой, непосредственно примыкающей к твердосплавной основе, и играют важную роль в повышении стойкостных характеристик инструмента. В процессе осаждения покрытий карбида титана формируется переходный слой покрытия - основа, а также происходят основные изменения в структуре и свойствах поверхностной области твердых сплавов.

Одним из путей повышения общей толщины покрытия является его многослойность (последовательно расположенные слои TiC, TiCN переменного состава и TiN) при сохранении относительно мелкозернистой структуры, а за счет этого и достижения большего эффекта повышения стойкости инструмента.

Для инструмента с покрытием такой структуры выполнен расчет тепловых потоков и температур в зоне резания (рис. 7). Анализ теплового состояния режущей части инструмента с функционально-ориентированными свойствами показал снижение температуры на передней поверхности в пределах 4,8 – 21,4% для различных значений износа по задней поверхности резца по сравнению с инструментом без покрытий (рис. 5). Температура максимально нагруженной зоны в пределах 810 °С; это позволяет утверждать, что температура резания для заданных условий обработки не превышает допустимого значения.

Таким образом, результаты расчета температур в зависимости от износа по задней поверхности инструмента без покрытия можно считать достоверными, а для резцов с покрытиями с функционально - ориентированными свойствами можно использовать представленную методику с целью оценки и прогнозирования теплового состояния инструмента для различных видов и вариантов структуры износостойких покрытий.

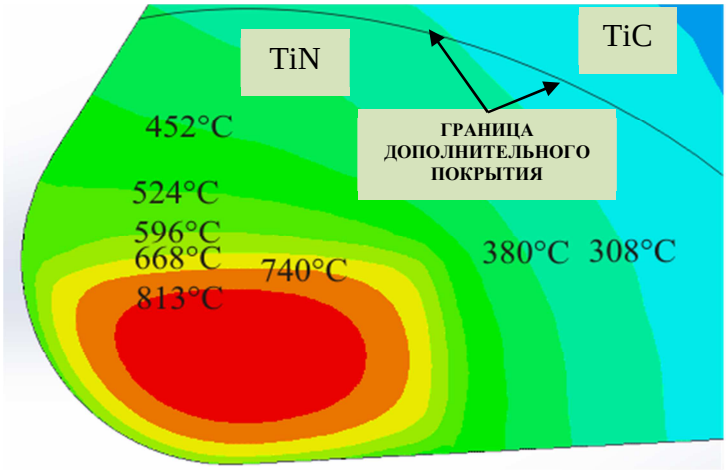


Рис. 7. Распределение температур по передней поверхности инструмента с функционально-ориентированными свойствами:

Список литературы: **1.** Резников, А. Н. Тепловые процессы в технологических системах: учеб. для вузов / А. Н. Резников, Л. А. Резников. – Москва : Машиностроение, 1990. – 288 с. **2.** Резников, А. Н. Теплофизика процессов механической обработки материалов / А. Н. Резников. – Москва : Машиностроение, 1981. – 279 с. **3.** Ящерицын, П. И. Теория резания. Физические и тепловые процессы в технологических системах : учеб. для вузов / П. И. Ящерицин, М. Л. Еременко, Е. Э. Фельдштейн. – Минск : Высш. шк., 1990. – 512 с. **4.** Моделирование тепловых процессов в технологических системах: учебное пособие (для студентов направления подготовки 15.03.05 «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств», профиля подготовки «Информационные технологии машиностроения») / сост. Ивченко Т. Г. - Донецк : ДОННТУ, 2017. - 144 с. **5.** Михайлов, А.Н. Основы синтеза функционально-ориентированных технологий машиностроения. - Донецк: ДонНТУ, 2009. - 346 с.

ПУТЬ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ПРОЦЕССА ЭКСПЛУАТАЦИИ ЭКСКАВАТОРОВ

Побегайло П.А. *(ИМАШ им. А.А. Благонравова РАН, Москва, РФ);*
Тел.: 8-499-135-55-72; E-mail: petrp214@yandex.ru
Крицкий Д.Ю. *(АО "СУЭК-КРАСНОЯРСК", Красноярск, РФ)*

Abstract: *This text has several objectives.*
First, for the authors of this work, this text is a program article, with a swing for decades, which outlines the path of subsequent intellectual and practical activity.
Secondly, this work serves to introduce a number of new terms into the practice of operating mining machines — for example, the concepts of homeostasis.
Thirdly, two methodical methods of work are presented - with the help of the concept of "Ideal Excavator", and within the framework of exiting traditional communication - when thinking alone is possible; with the occupation of various positions, allowing to search and receive new fragments of ontology, etc. In the present work, its authors are in the position of a Gnoseologist - that is, work with the relationship of the object, the subject and knowledge, carrying out, in particular, the process of reflection.
Fourthly, in the framework of this work, the authors conceptualize the work already done by them and immerse it in a wider methodological context.
In other words, this work is devoted to summing up the first results in the synthesis of a new discourse, determining the direction of further movement in the framework of building a methodology for managing the operation of career excavators by maintaining their homeostasis.
At a lower and specific level, we are now talking about the synthesis of the skeleton system of express diagnostics of dragline excavators under operating conditions.
Keywords: *excavators; excavators draglines; systems of express diagnostics of a condition of excavators; methodology of operation of equipment; homeostasis*

"Я либо город беру, либо его не штурмую".

Щедровицкий Г.П. [1, стр. 434]

"Только грядущее - область поэта"

Брюсов В.Я.[1]

Введение. Только в тот момент, когда инженер вырывается из замкнутой петли бесконечной коммуникации и занимает метапозицию Гносеолога, он становится способен к рождению интересных, иногда даже новых и оригинальных, мыслеформ; иными словами, он становится восприимчив к проекциям надстройки (культуры) на элемент базиса (на себя как члена общества), что иногда способствует формированию фрагментов новых онтологий в его мыследеятельности. Попробуем и мы встать в указанную позицию.

[1] Мы не даем специальной ссылки на всем известное и прекрасное стихотворение великого поэта "Юному поэту" (1896), т.к. книг его содержащих много и они вполне доступны.
Заметим, что мы не хотели бы сейчас вступать в спор с почитателями замечательного поэта Кибирова Т. с его мощным стихотворением на ту же тему.

На подступах к проблеме. Объектом нашей методологической рефлексии (то бишь мыследеятельности), в рамках настоящей работы, является одноковшовый карьерный экскаватор, а точнее — экскаватор драглайн.

Предметом нашей деятельности выступает в свою очередь тот этап его жизненного цикла, который описывает и регламентирует процесс его эксплуатации.

И Объект, и Предмет настоящей работы могут быть охарактеризованы и рассмотрены с различных сторон и по разным критериям. Что же привлекает нас сейчас из этого широкого множества, когда, напомним, мы заняли Гносеологическую позицию и пустились в рефлексию?

Отметим следующие содержательные и принципиальные моменты:

- идеальный экскаватор должен работать в режиме "24/7", начиная с момента его монтажа и заканчивая моментом его утилизации, причем последняя должна происходить мгновенно и не оставляя следов (говорить о практически вечном экскаваторе мы сейчас не будем). Монтаж также должен происходить путем мгновенной "магической" материализации машины из воздуха. В реальности все несколько сложнее и совсем не так красиво — режим "24/7" также все еще остается фантастикой[2];
- экскаватор в процессе своей эксплуатации характеризуется неким конечным множеством[3] показателей (минимальной мощности), которые с достаточной для практики точностью описывают (а иногда и определяют) его текущее состояние и позволяют прогнозировать его состояние в дальнейшем (в рамках т.н. горизонта прогноза)[4]. У идеального экскаватора горизонт прогноза стремится в сторону времени существования Вселенной, а характеризующие его параметры описывают состояние машины с абсолютной точностью[5];
- относительно реальной машины, по-видимому, невозможно сказать, какой численный набор характеризующих его параметров является оптимальным. На это накладывается неизбежный и полностью стохастический дрейф значений как отдельных показателей, так и их синергетического объединения. По-видимому, для идеального экскаватора, все наоборот в части оптимального состояния машины, которое является вполне определенным для заданных внешних условий, которые могут быть и изменчивыми (значит мы знаем некий закон, следование которому позволяет сохранять состояние машины оптимальным);
- идеальный экскаватор, работающий в идеальном, не изменчивом мире, не требует контроля множества параметров, его характеризующих. Если мир становится не идеальным, то такой контроль снова не нужен, так как дрейф показателей, характеризующих состояние машины, происходит по некоторому оптимальному закону (запаздывания по времени нет, т.к. это идеальная машина). У реальной машины все сложнее: единый оптимум неизвестен, оптимальные законы никем не найдены, и, по-видимому, их и не существует. Что же делать?

---

[2] Вопрос о том, что извлекать энергию из пространственно-временного континуума традиционным для нас способом, в который входит и процесс экскавации, есть дикость и варварство мы сейчас не анализируем.

[3] В таком контексте допустимо говорить о множестве имея в виду, что характеристическое свойство этих параметров состоит в том, что они описывают состояние экскаватора.

[4] Горизонт прогноза появляется из-за того, что в общем случае экскаватор это сильно нелинейная динамическая система. Да и мир вокруг такой же.

[5] Не претендуя сейчас на математическую строгость укажем, что введенное нами множество параметров характеризующих состояние экскаватора можно представить в виде вектора. Набор таких векторов образует векторное пространство. В рамках настоящей работы эти образы введены нами для удобства изложения и в дальнейшем требуют конечно своего формального описания (сейчас они, очевидно, художественные).

Обратить внимание на тот факт, что машина остается рационально эксплуатируемой при нахождении численных значений характеризующих экскаватор параметров в неких экстремальных границах — т.е. рациональная работа машины возможна при нахождении машины в различных состояниях, осциллирующих относительно некоего не известного нам оптимума — что описывается уже не неким оптимальным вектором, а характеризуется неким векторным пространством, в котором "живут" рациональные вектора состояния. Очевидно, что существенный интерес представляет как определение границ такого пространства, так и управление состоянием машины с той точки зрения, чтобы указанные границы не нарушались (и мы бы к ним даже не приближались на заранее заданную величину).

Все это подводит нас к аналогии с биологическими системами. Кратко остановимся на этом.

Аналогия с биологией [на основании трудов 2- 6 и др.]. Как известно, еще Аристотель в своей Физике обратил внимание на идею самосохранения объектов реального мира. В дальнейшем эта идея — претерпев существенные трансформации в физике Ньютона — рассматривалась Спинозой в его концепции самосохранения.

К концу XIX века до указанной идеи дошли руки и у биологов, физиологов, физиков: появился принцип Ле-Шателье - Брауна, а также исследования К. Бернара, И.М. Сеченова и др.

Далее, в первые десятилетия прошлого века, американский физиолог У. Кэннон ввел принцип самосохранения живых систем. При этом в его построениях впервые появилось понятие **гомеостаза**.

Сегодня существуют различные взгляды на понятие гомеостаза, по сути оно превратилось уже в некоторую методологическую категорию.

Мы сейчас будем оперировать следующим определением гомеостаза: гомеостаз есть "... сохранение постоянства внутренней среды организма при наличии возмущений во внешней среде" [2, 3 и многие др.].

Как известно, У. Кэннон и ряд других авторов считали и считают, что гомеостаз — это свойство целостного организма, целостной биосистемы. Мы стоим сейчас на той же позиции.

При такой позиции, как пишет Новосельцев [2, 3 и др.], гомеостаз "биологического объекта поддерживается (обеспечивается) сложной системой управляющих механизмов - прямыми и обратными связями. Комплекс таких связей поддерживает относительное постоянство одновременно всех существенных переменных в организме".

При этом, по Эшби, под существенными переменными понимают "такие переменные организма, которые имеют важное значение для выживания организма и тесно связаны между собой, так что значительное отклонение одной из них рано или поздно приведет к значительным отклонениям остальных и к гибели организма"[4, 5 и др.].

Отсюда вытекает, что "равновесное состояние в биосистеме может быть достигнуто только при одновременном поддержании относительного постоянства всех её существенных переменных. В этом смысле и вся система регулирующих механизмов должна рассматриваться как единый регулятор, обеспечивающий сохранение и гомеостаз целостной системы" [2, 3 и др.].

Подводя краткий итог нашему небольшому биологическому экскурсу, отметим, что из него вытекают несколько важных положений:

- гомеостаз характеризует состояние некоторой системы кроме всего и тем, что позволяет указать границы, после перехода которых система гибнет, так и не выполнив всех своих задач (при условии наличия у системы цели и/или целей);
- поддержание гомеостаза можно свести к некоторому классу задач теории автоматического управления;

- описание гомеостаза предполагает выделение существенных переменных (возможно, в некотором смысле, это будут т.н. параметры порядка).

Формирование Сверхпроблемы (цель и задачи). Итак, что же мы хотели сказать всем выше выписанным в рамках занятой нами позиции?

Нам представляется, что речь шла о том, что:

- реальный экскаватор в процессе эксплуатации далёк от выхода на режим работы "24/7", с мгновенными (и беззатратными) монтажом и утилизацией;
- состояние реального экскаватора может быть с достаточной для практики точностью описано неким конечным множеством параметров;
- не представляется возможным найти и описать некий единственный оптимальный вектор параметров, характеризующих текущее состояние машины;
- рационально работающий экскаватор описывается теми или иными векторами состояния, которые, в свою очередь, находятся в границах некоторого векторного пространства состояния;
- "мечта и беда эксплуатации" - управление состоянием машины, что возможно лишь через работу с указанными векторами — точнее, с указанным пространством. Существенным барьером тут выступает горизонт прогноза (если речь идет о не текущих действиях)[6];
- имея в виду приведенную выше биологическую аналогию, представляется разумным ввести в обиход процесса эксплуатации экскаваторов понятие **гомеостаза**.

На основании всего выше сказанного мы можем сформулировать глобальную цель исследований, которые необходимо развернуть в ближайшее время. Итак, **цель** состоит в том, чтобы построить подход к поддержанию гомеостаза одноковшового карьерного экскаватора в условиях его эксплуатации (а в дальнейшем - цепочек машин и т.д. - с выходом на гомеостаз предприятия, региона и пр.).

Для достижения указанной цели необходимо решить следующие основные **задачи**:

- найти основные характеристики машины в эксплуатации, знание которых позволяет судить о её состоянии с достаточной для практики точностью;
- нащупать границы векторного пространства состояния машины в эксплуатации, которые нельзя пересекать и касаться (формализовав при этом постановку задачи);
- построить систему управления эксплуатацией экскаватора;
- оценить доступный горизонт прогноза.

Первые шаги. Как давно всем известно, любая длинная дорога начинается с первого шага. Опишем же сейчас наши действия на первом этапе[7].

Начнем же с того, что отметим, что между академической и/или вузовской наукой и работой инженера-механика уже давным-давно разверзлась пропасть, которая включает в себя и разницу в технических возможностях. Так, обычный инженер-механик не имеет под рукой ни современных суперкомпьютеров, ни бравых аспирантов, ни дорогого программного обеспечения, ни времени, ни знаний, требующихся для выполнения, например, прочностных исследований, оценки усталостной долговечности и пр., и т.п. При этом наш инженер не может каждый раз бежать в ближайший НИИ и просить посчитать ему что-нибудь быстро и срочно (и бесплатно). В общем, совершенно очевидно, что указанный разрыв необходимо заполнить. Тут мы предлагаем разработать систему экспресс-диагностики, нацеленную на оценку состояния экскаватора и его элементов в условиях эксплуатации, функционирующую с удовлетворительной

[6] Заметим, что тут следует учитывать и прошлое состояние системы, и стохастичность всего происходящего с машиной.

[7] Заметим, что объяснять важность применение компьютеров нам представляется излишним, ибо на дворе уже 2020 год!

точностью и в рамках имеющихся знаний сотрудников, и на базе имеющегося у них оборудования.

Таким образом, главное, что мы поняли в последнее время — это то, что существует настоятельная необходимость в системе экспресс-диагностики. Вокруг этого мы и выполняем свой первый шаг к поставленной выше цели, которая является для нас сейчас по сути СверхИдеей ("трансцендентной").

Что же уже сделано нами в рамках разработки каркаса[8] системы экспресс-диагностики сегодня (на разработку профессионального программного обеспечения мы сейчас не претендуем)? А вот что:

- проанализированы как отказы, так и ремонты экскаваторов драглайнов (с выходом на ритмы и связи этих ритмов с биоритмами человека);
- выявлены т.н. слабые места их несущих конструкций [8 и др.];
- путём обобщения трудов ряда авторов нами предложена классификация дефектов несущих металлоконструкций экскаваторов - драглайнов;
- улучшен подход к получению экспериментальных данных по реальным сварным швам рассматриваемых машин;
- предложен инженерный подход к оценке теоретического коэффициента концентрации (ТКК) напряжений в сварном шве [9 и др.];
- поставлена задача о применении сценарного подхода (теории графов) к оценке состояния стрел экскаваторов драглайнов;
- проанализированы существующие методы неразрушающего контроля и выбран комплексный подход для надстроек и стрел экскаваторов драглайнов при главенствующей роли акустико-эмиссионного подхода (проведены натурные испытания данного метода [10 и др.]);
- намечены к развитию некоторые идеи в части реорганизации информационных цепочек в системах управления на горных предприятиях;
- осуществлена смычка исследований ТКК с оценкой состояния металла несущих металлоконструкций экскаваторов драглайнов;
- проведен анализ проблемы налипания грунта к элементам горных машин;
- развит подход к оценке скорости износа зубьев ковшей.

Кроме этого, в каркас системы экспресс-диагностики входят выполненные ранее работы по[9]: оценке энергопотребления экскаваторов типа ЭКГ; вычислению удельных давлений гусениц на грунт для экскаваторов с гидравлическим приводом и пр.

Подчеркнем, что выбор именно таких элементов каркаса системы экспресс-диагностики связан как с нашим субъективным пониманием проблем эксплуатации экскаваторов, так и с нашими объективными финансовыми и техническими возможностями. Кроме того, вся представленная цепочка рассмотренных нами вопросов пронизана внутренней логикой, когда следующая задача вытекает из предыдущих и имеет, на наш взгляд, потенцию к развитию.

Так же необходимо отметить, что среди известных нам современных западных работ, касающихся экскаваторов, трудов именно такой направленности, как сей манускрипт, нам неизвестно, что можно увидеть и самостоятельно из работ, например, [12 - 15 и др.].

---

[8] При выборе данного термина мы ориентировались на разные известные труды, в частности на работы Ладенко И.С., например на его монографию [7], однако понимаем мы его конечно существенно уже и скромнее чем многие. А именно - каркас это абрис структуры системы экспресс диагностики, в который нами включены взаимосвязанные между собой вопросы имеющие к тому же очевидное развитие и продолжение.

[9] Представляется полезным также ассимилировать те достижения, которые есть и у наших предшественников. Так, например, интересны результаты представленные в монографии [11].

К вопросу о формализации описания системы эксплуатации экскаватора. Так как мы рассматриваем "целеустремленную" систему, то часто удобно давать ее описание на языке энтропии[10]. В качестве примера перечислим основные аксиомы т.н. релятивистской теории информации, развитой Джюмэри для динамических систем [16 и др.].

Аксиома 1. Система Σ является частью некоторой вселенной U и развивается только потому что она преследует некоторую цель v.

Аксиома 2. Для достижения цели v система Σ воспринимает информацию I из окружающей среды и использует её для перестройки собственной организации (внутренней структуры) a, в результате которой увеличивается негэнтропия n, и для оказания воздействия A на окружающую среду.

Аксиома 3. Структурная энтропия E системы Σ определяется соотношением вида:

$$dE = \frac{dI}{n}, \quad (1),$$

и является неубывающей функцией эволюции Σ.

Аксиома 4. Вселенная U не может наблюдать собственную эволюцию.

Из этих четырех аксиом вытекает следующее уравнение состояния системы:

$$f\left(H_C, H_i, v\right) = 0, \quad (2),$$

где H_C - внешняя энтропия системы Σ по отношению к фиксированному наблюдателю R; H_i - внутренняя энтропия системы Σ по отношению к фиксированному наблюдателю R; v - цель системы Σ с точки зрения наблюдателя R.

В завершении настоящего раздела напомним, что энтропия является мерой беспорядка, существующего в системе. Мерой упорядоченности системы является негэнтропия. В основе описания динамического процесса с помощью этих понятий лежит гипотеза о преобразовании системой негэнтропии входа в информацию. Это означает, что все замкнутые системы меняются так, чтобы минимизировать изменения энтропии.

Заключение. Выйдя в метапозицию Гносеолога, нам удалось сформулировать главную проблему эксплуатации отечественных горных машин в рамках открытых горных работ — проблему отсутствия научно обоснованного подхода к управлению состоянием машин, цепочек машин, потоков информации и Труда на всех иерархических уровнях. Иными словами, отсутствует осознанное и научно обоснованное управление гомеостазом отдельных горных машин, систем горных машин, подразделений горных организаций и пр.

Кроме этого, нам удалось породить некоторые фрагменты новой онтологии эксплуатации такого рода машин, выстроенной вокруг разрабатываемого нами каркаса системы экспресс-диагностики карьерных экскаваторов.

Представляется также принципиально важным выявление очевидной биологической аналогии между жизнедеятельностью биологических систем и процессами на открытых горных работах. На этом пути нас ждет еще много интересных и полезных открытий!

Несомненно полезно также иногда вести речь об экскаваторах с позиций рассмотрения идеальной машины (в смысле, например, Платона). Мы считаем выявление этого методического приема полезным практическим эффектом настоящей работы.

[10] Это естественно не единственное полезное и возможное описание. Описание на языке энтропии тесно связано с описанием на языке потенциальных функций.

Главный же методологический шаг, востребованный временем и практикой, — и выполненный нами сейчас — это выход из привычного круга коммуникации. Это, пожалуй, самое главное, что мы вынесли из проделанных нами исследований, т.к. в отличие от частных результатов, предложенный подход несет в себе отпечаток вечности и может быть рекомендован всем интересующимся и имеющим потенцию к творчеству (тут рекомендуется помнить о том, что такое человек и свобода по К. Марксу).

Работа будет продолжена, расширена и углублена, хотя бы и потому, что "Идея становится материальной силой, когда она овладевает массами" [17].

Список литературы. 1. Щедровицкий Г.П. Оргуправленческое мышление: идеология, методология, технология (курс лекций). - 5-е изд. -М.: Изд-во Студии Артемия Лебедева, 2018. 464 с. 2. Новосельцев В.Н. Теория управления и биосистемы. Анализ сохранительных свойств. М.: Наука, 1978. 320 с. 3. Новосельцев В.Н. Организм в мире техники: кибернетический аспект. М.: Наука, 1989. 241 с. 4. Эшби У.Р. Введение в кибернетику. М.: Иностранная литература, 1959. 432 с. 5. Эшби У.Р. Конструкция мозга. М.: Иностранная литература, 1962. 399 с. 6. Розен Р. Принцип оптимальности в биологии. М.: Мир, 1969. 216 с. 7. Ладенко И.С. Интеллектуальные системы и логика. Новосибирск: Наука, 1973. 174 с. 8. Обоснование выбора точек контроля металлоконструкций экскаваторов драглайнов / Побегайло П.А., Крицкий Д.Ю., Мутыгуллин А.В., Шигин А.О. // Уголь. 2018. №.6. с. 48—53. DOI: 10.18796/0041-5790-2018-6-48-52 9. Побегайло П.А., Крицкий Д.Ю. Элементы системы экспресс диагностики состояния карьерных экскаваторов в условиях эксплуатации: блок оценки концентраторов напряжений в металлоконструкциях со стыковыми швами // ГИАБ. 2018. S.50. с. 216—229. DOI: 10.25018/0236-1493-2018-12-50-216-229 10. Комплексный подход к безопасной эксплуатации элементов металлоконструкций карьерных экскаваторов / Крицкий Д.Ю., Шигин А.О., Бовин К.А., Побегайло П.А. // ГИАБ. 2017. S.32. с. 307—319. DOI: 10.25018/0236-1493-2017-12-38-307-319 11. Мордухович И.Л. Исследования параметров рабочего процесса шагающих драглайнов. М.: Наука, 1984. 143 с. 12. Rusiński E. & etc. Surface mining machines: problems of maintenance and modernization. Springer International Publishing AG, 2017. 169 p. ISBN 978-3-319-47792-3, DOI 10.1007/978-3-319-47792-3 13. Jiaqi Xu, Hwan-Sik Yoon A Review on Mechanical and Hydraulic System Modeling of Excavator Manipulator System // Journal of Construction Engineering, Volume 2016, Article ID 9409370, 11 pages. http://dx.doi.org/10.1155/2016/9409370 14. Patel B., Patel D., Patel M. A critical review on kinematics of hydraulic excavator backhoe attachment // International Journal of Mechanical and Robotics Research, Vol. 4, No 2, 2015, pp. 188 - 203. 15. Raj J. et al. Study on the analysis of excavator boom: a review // SSRG International Journal of Mechanical Engineering, Vol. 2, No 7, 2015, pp. 31 - 39. 16. Касти Дж. Большие системы. Связность, сложность и катастрофы. М.: Мир, 1982. 216 с. 17. Маркс К., Энгельс Ф. К критике гегелевской философии права // Собр. соч., изд. 2, т. 1. — М.: Политиздат, 1957. — 689 с.

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ КОНСТРУКЦИИ ТЕРМОИНСТРУМЕНТОВ ДЛЯ РАЗРУШЕНИЯ ГОРНЫХ ПОРОД

Поветкин В.В.[1], Букаева А.З.[2], Орлова Е.П.[3], Бектибай Б.Ж.[1]

(*[1]Казахский национальный университет имени аль-Фараби, г. Алматы, Казахстан, [2]Каспийский государственный университет технологий и инжиниринга имени Ш.Есенова, г. Актау, Казахстан, [3]Казахский национальный исследовательский технический университет имени К.И.Сатпаева, г. Алматы, Казахстан*)

Тел. 8 (727) 221-15-43; E-mail: vv1940_povetkin@mail.ru

Abstract: *The article deals with the main parameters of the thermodynamic working device for rock destruction due to the implementation of a new method of fuel mixture combustion in shock waves initiated by a high-speed torch burner in gas-dynamic combustion intensifiers. A device for thermal destruction of rocks has been developed, which belongs to the mining industry and can be used for directed impact on rocks when they are destroyed by hot gas jets in mining, stone processing and construction industries.*

Key words: *thermotool, rock, detonation burning, fuel components (gasoline, kerosene, air).*

Республика Казахстан располагает крупными запасами строительного камня крепких горных пород, пригодного для производства облицовочных и промышленных изделий. Значительные запасы этих пород в Восточном, Центральном и Южном Казахстане представлены гранитами разнообразного состава и различных расцветок. К ним относятся уже разрабатываемые уникальной голубовато-зеленоватой окраски амазонитовые граниты месторождения Майкуль, красные граниты Курдайского и Акбакайского месторождений, гранодиориты месторождения Кайракты, граниты месторождений Курты, Арасан-Капал, Алатагыл, Желтау и другие [1].

Учеными ряда зарубежных университетов Москвы, Ленинграда, Алматы, Харькова и других городов бывшего союза, разработали огнеструйный способ добычи и обработки блочного камня из крепких горных пород с применением газоструйных горелок (термоинструментов), которые работали на базе сжигание углеводородных топлив кислородный или воздушной среде [2-4].

Разработанные термоинструменты были использованы на подавляющем количестве предприятий по добыче и поверхностной обработке блочного камня.

Однако, существует огромный резерв повышение тепловой мощности огнеструйных горелок с использованием новых процессов горения топливных компонентов. Для решения этого вопроса существует современная теоретическая база изучения процессов горения углеводородов в кислородной среде, при создании условий образования ударных волн в высокоскоростной сверхзвуковой струе горелок [5-7].

Проводимые исследования по интенсификации горения топливных компонентов показывают перспективность применения явления детонационного горения. Качественная оценка детонационного горения была проведена на бензовоздушной горелке с интенсификатором горения в виде цилиндрического насадка на часть струи горелки, и эжектированием воздуха через перфорацию насадка, выполненной на некотором расстоянии от среза сопла горелки [6,7].

Интенсификация горения в насадке происходит за счет управления процессом горения, после выхода струи из сопла Лаваля в полость насадка, имеющего площадь поперечного сечения в 2,0÷2,5 раза больше площади критического сечения сопла Лаваля. В этом сечении струя горелки резко расширяется в результате чего образуется зона турбулентного течения газового потока и, как следствие, - резкое повышение температуры газовой струи [8].

Авторами статьи разработана новая конструкция термоинструмента на уровне изобретения [9]. Изобретение относится к горному делу и может быть использовано для направленного воздействия на горные породы при их разрушении раскаленными газовыми струями в горной, камнеобрабатывающей и строительной промышленности, а также при очистке и напылении материалов.

Известно, устройство для термического разрушения горных пород [10], принятое нами за аналог, состоящее из камеры сгорания, сопла, отражающего экрана, имеющего форму параболлоида вращения и отверстия для подвода недостающего компонента. Процесс непрерывного генерирования детонационных импульсов происходит следующим образом. К основанию факела, истекающего из камеры сгорания, поступает через отверстия в стенке экрана горючий компонент, мгновенно вступающий в химическую реакцию. В результате образуется ударная волна и область высокого давления, которая прекращает поступление компонента из отверстий. Как только давление снизится, недостающий компонент вновь поступает к основанию факела и процесс повторяется. Недостатком его является низкая эффективность, т.е. процесс несколько интенсифицируется, но качественного скачка прироста производительности не удается получить.

Известно, также устройство для термического разрушения горных пород [11] принятое нами за прототип, включающее огнеструйную горелку с камерой сгорания и соплом Лаваля для формирования истекающей струи газа, отличающийся тем, что соосно соплу выполнены с возрастанием диаметров последовательно несколько цилиндрических насадок с эжектирующими окнами, а места сочленения насадок образуют каналы для подвода дополнительного горючего. Недостатком которого является сложность запуска, вновь образованного цилиндрического насадка, и большую металлоемкость. Задача изобретения состоит в повышении мощности факела горелки путем более полного использования его энергетических характеристик.

Решение задачи достигается тем, что возбуждают скачки уплотнения вдоль образованной струи факела горелки после ввода ее в специальный цилиндрический насадок, площадь сечения внутреннего отверстия которого, превышает площадь критического сечения сопла Лаваля горелки в 2,5...3,0 раза, причем насадок выполнен двухступенчатым с эжекционными цилиндрическими отверстиями, расположенными под углом 45-50° к оси насадка, в первой ступени которого, для эжекции атмосферного воздуха и использования его кислорода для сжигания в основной струе горелки внутри насадка высокотемпературного несгоревшего горючего и образования новой струи высокой температуры и скорости.

Выполнение эжекционных отверстий во второй ступени насадка предназначено для охлаждения выходного сопла насадка, площадь отверстия которого превышает площадь внутреннего отверстия насадка на 30-32%, а его длина равна его диаметру.

Газовая струя горелки, выходящая из сопло Лаваля горелки, направляется во внутреннее отверстие насадка, в котором, из-за резкого расширения газовой струи, образуется турбулентность и, как следствие, - резкое повышения температуры газового потока.

Первый ряд эжекционных отверстий, при их сверлении, внутри насадка образует шероховатость, которая способствует созданию в струе мощного скачка уплотнения (ударной волны) в котором дожигается избыточное горючее, поступающее в струю из камеры сгорания, при сгорании этого горючего увеличивается мощность факела, то есть более полное использование его энергетических характеристик без использование громоздкого компрессорного оборудования.

Второй ряд эжекционных отверстий, выполнен в торце второго каскада, площадь отверстия которого превышает площадь отверстия насадка на 30-32% и служит для охлаждения выходного сопла насадка, причем длина выходного сопла насадка равна его диаметру.

Техническим результатом изобретения является повышение мощности факела горелки за счет более полного сгорания топливных компонентов и выполнение конструкции горелки с рациональными параметрами.

На рисунке 1 представлено предлагаемое устройство термоинструмента (приведен фрагмент разреза без системы подачи топливных компонентов), на рисунке 2 показан выносной элемент А горелки кольцевой канал для всасывания атмосферного воздуха и охлаждением им насадка.

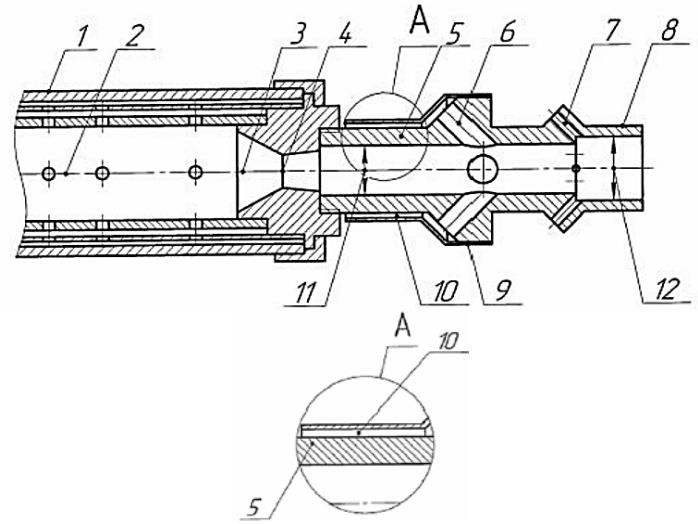


Рис. 1. Устройство для термического разрушения горных пород
1 – горелка, 2 – камера сгорания, 3 – сопло Лаваля, 4 – критическое сечение сопла Лаваля, 5 – насадка, 6, 7 – эжекционные окны, 8 – выходное сопло, 9 – кольцевой канал, 10 – кожух

Устройство состоит из горелки 1, имеющей камеру сгорания 2 с соплом Лаваля 3, имеющий критическое сечение 4, за соплом Лаваля 3 выполнен удлиненный цилиндрический насадок 5, с внутренним диаметром 11 несколько больше критического сечения сопла Лаваля 3, расположенный соосно с соплом Лаваля 3, в котором выполнены эжекционные окна 6 и 7, под углом 45-50° к оси насадка. Конец насадка 5 выполнен большего диаметра 12, и имеет также эжекционные отверстий 7 для всасывания эжек- тируемого наружного воздуха, идущего для охлаждения выходного сопла 8.

Также для охлаждения поверхности насадка 5 в первой ступени - в области развития очага горения топливных компонентов внутри насадка, последний снабжен защитным наружным кожухом 9, имеющий кольцевой канал 10, между корпусом насадка 5 и кожуха 9, через который всасывается эжектируемый воздух, идущий на поддержания горения в скачке уплотнения.

Устройство работает следующим образом.

В камере сгорания 2 горелки 1 происходит сгорания топливных компонентов (горючего и окислителя), подающихся подводящими магистралями (на чертеже не указаны). Горение в камере сгорания 2 горелки 1 горючих топливных компонентов сопровождается выбросом раскаленной газовой струи из камеры сгорания 2 через критическое сечение 4 сопла Лаваля 3 в насадок 5 и далее выходное сопло 8 насадки 5 на объект разрушения.

Для повышения эффективности работы горелки, в частности по разрушению горных пород, в предлагаемом устройстве происходят наращивание ее мощности. Высокоскоростная высокотемпературная струя горелки 1, обогащенная горючим, направляется в насадок 5 через сопло Лаваля 3, из камеры сгорания 2. При выходе из сопла Лаваля 3 струя горелки 1 резко расширяется в насадке 5, поперечная площадь отверстия которого в 2,5-3 раза больше площади критического сечения сопла Лаваля 4 горелки 1, причем в газовом потоке возникает турбулентность и, как следствие, резкое повышение температуры газовой струи. При дальнейшем движения газового потока высокой температуры, за счет трения о шероховатости внутренней стенки насадка 5, образованной при сверлении наклонных эжекционных отверстий 6 и 7, а также встречи с холодным, эжектируемым через эжекционные окна 6, атмосферным воздухом, возбуждается мощ-

ный стационарный скачок уплотнения. Этим достигается быстрое (детонационное) горение и полное дожигание горючего, и, как следствие, повышение мощности струи и дальнейший разгон еѐ в цилиндрическом насадке 5. Струя повышенной мощности и увеличенного диаметра из насадка 5 через выходное сопло 8 выбрасывается наружу, и идет на разрушение горной породы. Кожух 9, и образованный им кольцевой канал 10, обеспечивает объем всасываемого воздуха через эжекционные отверстий 7 и охлаждения поверхности насадка 5, нагреваемого фронтом горения внутри скачка уплотнения в насадке 5. Одновременно, эжекционные отверстий 7, выполненные в торце второго каскада насадка, служат для всасывания атмосферного воздуха, идущего на охлаждения выходного сопла 8 насадка 5, так как, ввиду малых их диаметров, эжектируемый поток воздуха не смешиваются полностью с основной струей, образованной в насадке 5, а является подстилающим, предохраняющим выходное сопло 8 от перегрева, а площадь внутреннего отверстия выходного сопла, относительно площади внутреннего отверстия насадка больше на 30-32%.

Пример. Бензовоздушная горелка с насадкой диаметр выходного сопла насадка 0,024 м. Максимальная развиваемая горелкой без насадка, первоначальная мощность составляет 120 кВт при расходе воздуха от компрессора 5 $м^3$/мин под давлением 0,6÷0,7 МПа. При этом расход горючего (бензина) 12-17 кг/час. Факел горелки при его выходе из сопла насадка увеличивается по длине до 250÷300 мм, а его диаметр также заметно возрастает, что свидетельствует о выводе на режим горения горелки с насадком. Мощность факела возрастает до 170÷200 имеет длину 0,45 м при диаметре 0,06 м, критический диаметр сопла Лаваля 0,012 м, внутренней диаметр насадка 0,02 м, кВт. Для сравнения: мощность 200 кВт развивала бы бензовоздушная горелка без насадка с критическим сечением сопла Лаваля 0,022÷0,025 м, расходом воздуха 20-25 $м^3$/мин, при давлении 0,6÷0,7 МПа. Использование предлагаемого изобретения позволит снизить трудоемкость изготовления огнеструйных горелок, их металлоемкость, а главное - получить необходимую мощность факела без использования дополнительного громоздкого компрессорного оборудования и этим улучшить технико-экономические показатели термоинструмента.

Также авторами получен патент на устройство для термического разрушения горных пород, в котором обоснованы основные конструктивные параметры горелки (термонинструмента), реализующей горение топливных компонентов в высокоскоростной струе горелки, в ударных волнах, в которых скорость горения топливных компонентов происходит в сотни раз быстрее, чем в обычных условиях горения [12].

Проводимые автором исследования для получения явления детонации в свободной струе горелки, при сжигании в ней топливных компонентов в различных стехиометрических соотношениях, не привел к созданию мощных ударных волн и, как следствие, детонационных явлений [6]. Однако введение в обогащенную горючим газовую струю горелки недостающего топливного компонента – окислителя и сжигание этих компонентов в призабойном пространстве, т.е. в отсоединенном от забоя скачке уплотнения, дало положительные результаты. Прирост производительности незначителен, т.к. эти процессы горения можно производить более качественно в самих горелках при соответствующих стехиометрических состояниях и, в связи с этим, не требуется усложнять конструкцию горелки. Тем более при технологической схеме обработки в виде «полосового источника» тепла, когда пятно контакта струи с породой расположено по всей длине газовой струи горелки [13].

Выводы:

1. Разработано устройство для термического разрушения горных пород, включающее огнеструйную горелку с камерой сгорания и соплом Лаваля, для формирования истекающей струи.

2. Также, установлено соосно соплу, с возрастанием внутреннего диаметра, цилиндрической насадки, с двумя каскадами эжекционных отверстий - первый каскад которого выполнен на расстоянии от сопла Лаваля, равным расстоянию до полного расширения струи факела горелки, далее, разгонного участка насадка и новой, образованной горением несгоревшего горючего, струи горелки.

3. Установлена, что площадь поперечного сечения внутреннего отверстия цилиндрической насадки, выполнено с превышением площади критического сечения сопла Лаваля горелки в 2,5-3 раза, в котором, из-за резкого расширения газового потока в насадке, происходит турбулизация, с образованием мощной зоны нагрева газового потока и возникновения в нем стоячей детонационной волны.

4. Угол сверления эжекционных отверстии первого каскада выполнен под 45-50º к оси насадки, который служат для эжекции атмосферного воздуха, кислород которого вступает в реакцию горения с избыточном горючим в основной струе горелки и образовании более мощной струи;

5. Эжекционные отверстия, выполненные в торце внутреннего диаметра второго каскада насадки, служат для эжекции атмосферного воздуха и охлаждения им выходного сопла, площадь которого превышает площадь внутреннего отверстия насадки на 30-32%.

Список литературы: 1. Чирков А.С. Добыча и переработка строительных горных пород - М.: Изд-во Московского государственного горного университета, 2001. - 623 с. **2.** Дмитриев А.П., Гончаров С.А., Германович Л.Н. Термическое разрушение горных пород. - М.: Недра, 1990, - 255 с. **3.** Голдаев И.П. Основы теории газоструйных инструментов. Новые физические методы разрушения минеральных сред. Изд. «Недра», М., 1970. **4.** Поветкин В.В. Огнеструйная обработка гранитных блоков. – Алматы, 2001. - 145с. **5.** Bukayeva A.Z., Povetkin V.V., Khandozhko A.V., Nurymov Y.K. Study of the application high velocity thermal spraying tools used in technological processes and production // News of the academy of sciences of the Republic of Kazakhstan. Series of geology and technical sciences, №5, 2017, - Almaty, ISSN 2518-170X, - pp.190-201. **6.** Ястребов Е.К. Повышение эффективности огнеструйного разрушения горных пород дожиганием топлива в призабойном пространстве. Автореф. ...канд.техн.наук. -Алма-Ата. 1990. **7.** А.с. №1383875. СССР. Устройство для термического разрушения горных пород // Москалев А.Н., Поветкин В.В, и др. -Б.и. №19, 1988. **8.** Поветкин В.В., Орлова Е.П., Букаева А.З. Разработка термоинструментов с интенсификаторами горения для разрушеия крепких горных пород при добыче блочного камня. Студенческий научно-технический журнал «Инженер» - Донецк, 2018. №1(25), ISSN 2073-5804, - 86-88 с. **9.** Патент РК № 33704. Поветкин В.В., Букаева А.З. Устройство для термического разрушения горных пород. Опубл. 21.06.2019, Бюл. №25. **10.** А.с. СССР №166292. Климешов В.П., Рудяк С.М., Синдеев П.Р. Устройство для термического разрушения горных пород. Опубл. 19.11.64, бюл. №22. 11. **11.** Инновационный патент №20976. Алипов К.С., Поветкин ВВ., Москалев А.Н., Алтынов Ж.Л., Поветкин А.В. Устройство для термического разрушения горных пород. Опубл. 16.03.2009, бюл. №3. **12.** Патент РК № 33706. Поветкин В.В., Букаева А.З. Устройство для термического разрушения горных пород. Опубл. 21.06.2019, Бюл. №25. **13.** Поветкин В.В., Керимжанова М.Ф., Букаева А.З. Разработка термодинамического бура для разрушения крепких горных пород. Международный сборник научных трудов «Прогрессивные технологии и системы машиностроения» - Донецк, 2017. Выпуск 4(59) - 56-63 с.

УПРОЧНЯЮЩИЕ ГАЗОПЛАМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ОБОРУДОВАНИЕ

Поветкин В.В.[1], Нурмуханова А.З.[1], Ермеков Д.К.[1], Букаева А.З.[2], Исаева И.Н.[3]
(*[1]Казахский национальный университет имени аль-Фараби, г. Алматы, Казахстан, [2]Каспийский государственный университет технологий и инжиниринга имени Ш.Есенова, г. Актау, Казахстан, [3] Северо-Казахстанский государственный университет имени М.Козыбаева, г. Петропавловск, Казахстан.*
Тел. 8 (777) 588 36 90; E-mail: vv1940_povetkin@mail.ru

Abstract: *In the article the analysis of strengthening technologies of application of high-alloy materials on metals is carried out. The processes and technologies of wear-resistant coatings on metal surfaces of machine parts are considered. The authors propose a number of devices for applying hardening coatings on metal surfaces of machine parts and, in particular, on pipelines for oil and gas transportation.*
Key words: *wearproof powders, welding materials, thermal tool, detonation, plasmatron, corrosion.*

В машиностроении остро стоит проблема повышения ресурса работы технологического оборудования. Срок службы любого оборудования зависит от рабочих нагрузок и, связанного с ними, снижения износостойкости рабочих контактирующих поверхностей. В настоящее время имеется большой задел методов и средств повышения износостойкости трущихся и, испытывающие большие нагрузки, поверхности рабочих деталей машин [1-4].

Авторами [5-7] рассмотрены эффективные методы повышения износостойкости поверхностей деталей машин и оборудования, позволяющие наносить высокоэффективные порошковые и наплавочные материалы со сложной композицией легирующих элементов, повышая износостойкость и, как следствие, срок службы оборудования с высококачественным стойким покрытием. Предложенные материалы, также эффективны при защите от коррозии, например трубопроводной системы транспортирования жидких и газообразных, углеводородных материалов [5], что является первостепенной задачей для народного хозяйства Казахстана, как одной из ведущих стран мира, имеющей развитую газотранспортную систему.

В работах [5,6] проведены исследования и эксперименты по различным методам напыления износостойких порошков на рабочие поверхности изделий, установлены эффективные методы и технологические приемы нанесения покрытий с использованием газовых потоков большой скорости и температуры. При ударе высокоскоростного газового потока, с расплавленным порошковым материалом, по поверхности обработки, происходит прочное сцепление расплавленного потока порошка с поверхностью обработки.

В качестве рабочей среды используются различные горючие материалы на основе пропана или ацетилена, имеющих высокую температуру горения, что позволяет использовать (расплавлять) многие легирующие материалы. Также в промышленности используются эффективные способы нанесения износостойких покрытий детонационным и плазменным способами, обладающих высокой эффективностью, но низкой стойкостью рабочих элементов – электродов и быстроизнашивающихся сопел [4].

Для решения вопроса повышения эффективности способа напыления износостойких материалов из легирующих металлов, авторы предлагают термодетанационный способ, реализующий малогабаритными ракетными горелками (термоинструментами).

Термоинструменты широко используются в горном и строительном производстве при добыче и обработке гранитных блоков [8], они обладают высокими скоростями газового потока (факела) и высокой температуры. Высокая скорость газового потока, с включением порошковых материалов, позволит улучшить адгезионные свойства покрытия. Эти параметры тепловых потоков реализуются жидкостными газовыми горелками, работающие на основе внутрикамерного сжигания углеводородных горючих и образования высокоскоростного (2000-2500 м/сек), высокотемпературного (2000-2500 и более ^{0}C) факела, в который вводится и транспортируется на поверхность обработки порошковый материал.

В результате исследования [9], на уровне изобретения, разработан способ газопламенного напыления металлических порошков и устройство для его осуществления.

Изобретение относится к технологии и оборудованию газопламенного напыления и может быть использовано при нанесении покрытий, например, для восстановления трубопроводной арматуры. Известен способ газопламенного напыления металлических порошков, включающий подачу в горелку камеры сгорания топлива и окислителя, а в сопло горелки металлического порошка, а также подачу дополнительного окислителя - воздуха с образованием напылительного потока, направляемого через цилиндрический насадок, соединенный с горелкой, на поверхность обрабатываемых деталей [10].

Известно устройство для газопламенного напыления металлических порошков, с помощью которого осуществляется способ, содержащее камеру сгорания, включающую горелку с соплом и соединенный с горелкой цилиндрический насадок, трехканальный коллектор для подачи топлива и окислителя в камеру сгорания, кольцевой диффузор с каналами для подсоса дополнительного окислителя - воздуха, магазин для подачи в сопло металлического порошка, и механизм для перемещения обрабатываемых деталей, который расположен снаружи от камеры сгорания [10].

Недостаток способа и устройства для его осуществления заключается в том, что напылительный поток удален на некотором расстоянии от среза сопла горелки, за счет чего происходит охлаждение газовой струи потока. Газовая струя, имеющая температуру 2500°C в зоне окисления, охлаждается до температуры 1100 1200°C, что существенно снижает адгезионные свойства покрытия.

Задачей изобретения является разработка способа и устройства для газопламенного нанесения металлических порошков, которые обеспечивают высокую температуру транспортируемого газа по всей длине факела от камеры сгорания до поверхности обработки.

Для достижения технического результата в способе газопламенного напыления металлических порошков, включающем подачу в камеру сгорания топлива, окислителя, металлического порошка, а также подачу дополнительного окислителя, с образованием напылительного потока, направляемого на поверхности обрабатываемых деталей, согласно изобретения в струю напылительного потока, на выходе из камеры сгорания, вводят термитный порошок в количестве 8-10% от массы напыляемого металлического порошка. В качестве термитного порошка используют алюминий или оксид алюминия, или смесь алюминия и оксида железа.

Для достижения технического результата в устройстве для газопламенного напыления металлических порошков, содержащем камеру сгорания, горелку с соплом, соединенный с горелкой цилиндрический насадок, трехканальный коллектор для подачи топлива и окислителя в камеру сгорания, кольцевой диффузор с каналами для подсоса дополнительного окислителя - воздуха, магазин для подачи в сопло металлического порошка, и механизм для перемещения обрабатываемых деталей,

согласно изобретения на срезе цилиндрического насадка выполнены наклонные каналы для подачи термитного порошка (рисунок 1).

Предлагаемое устройство для газопламенного напыления металлических порошков, представленное на чертеже, содержит камеру сгорания 1, газоструйную горелку 3 с соплом Лаваля 2 и, соединенный с горелкой цилиндрический насадок 4, в котором на участке соединения с соплом 2 выполнены отверстия 5 для соединения полости насадка 4 с магазином для подачи в насадок 4 металлического порошка.

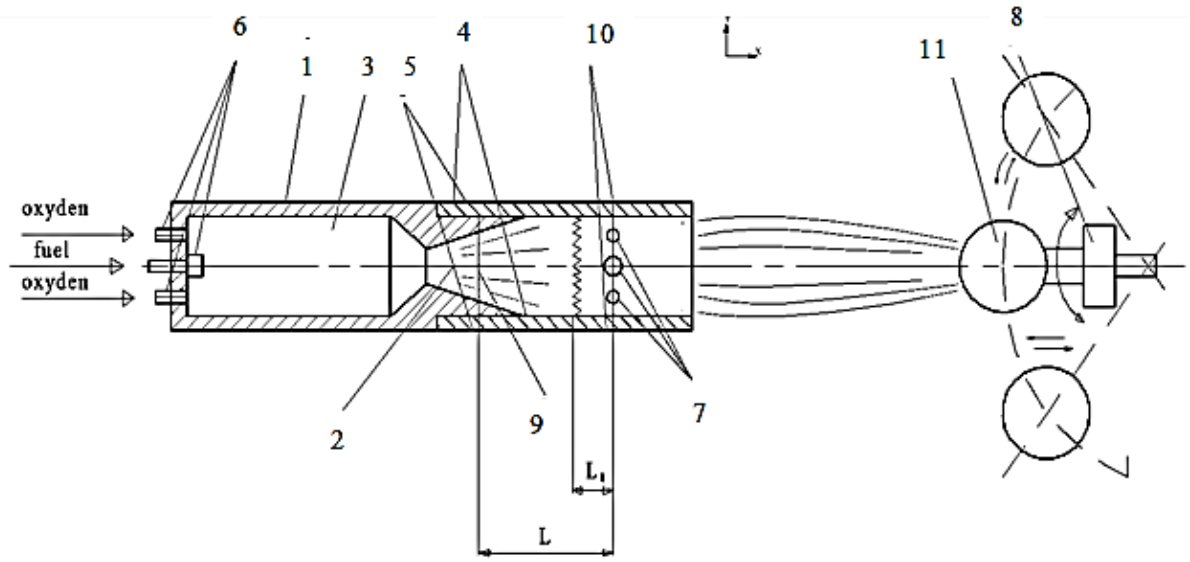


Рис. 1. Устройство для газопламенного напыления металлических порошков
1 - камера сгорания, 2 - сопло Лаваля, 3 - газоструйная горелка, 4 - цилиндрическая насадка, 5, 10, 12 - отверстии, 6 - трехканальный коллектор, 7 - кольцевой диффузор, 8 - механизм, 9 - длина L относительно среза,11 - деталь

Трехканальный коллектор 6 для подачи топлива и окислителя введен в горелку 3. Кольцевой диффузор 10 выполнен в виде перфорированной перегородки 10 с шероховатой поверхностью и расположен внутри цилиндрического насадка с равноудаленными на длину L относительно среза 9, сопла 2 наклонными под углом к оси насадка 4 отверстиями 10 для подачи дополнительного окислителя - воздуха. Механизм 8 перемещения деталей 11 расположен снаружи на выходе из камеры сгорания 1. На срезе цилиндрического насадка 4 дополнительно выполнены наклонные отверстия 12 для подачи термитной смеси алюминия или оксида алюминия, или смеси алюминия и оксида железа, которая при сгорании в потоке газовой струи предотвращают снижение температуры напылительного потока, обеспечивают постоянную температуру распыляемого порошка на всей длине его транспортировки до поверхности обработки.

Предлагаемое устройство для газопламенного напыления металлических порошков работает следующим образом. При подаче топливных компонентов (бензина, керосина, солярового масла, пропана) и окислителя через трехканальный коллектор 6 в горелку 3 камеры сгорания 1 осуществляется их поджог от факела или электрической свечи. Образовавшиеся газообразные продукты сгорания, имеющие температуру 2500°С, через сопло 2 истекают в цилиндрический насадок 4 со скоростью порядка 2000 м/сек.

Одновременно, в истекающую из горелки 3 высокотемпературную газовую струю через отверстия 5, соединенные с магазином (на чертеже не показан) подают металлический порошок, который при движении в струе разогревается до

пластического состояния, а также дополнительный окислитель (окружающий воздух из атмосферы), который поступает во встречном направлении в цилиндрический насадок 4 через отверстия 10 и кольцевой диффузор 7.

При этом транспортировка порошкового материала производится также во встречном направлении движения дополнительного окислителя через диффузор 7 во фронте ударной волны, созданном в потоке газа за счет ударного импульса с образованием мощного скачка уплотнения при встрече с шероховатой поверхностью диффузора 7, который, двигаясь навстречу газовому потоку, уравновешивается скоростью набегания потока и устанавливается на участке L диффузора 7.

Газовый поток, несущий металлический порошок и несгоревшее горючее, из горелки 3 поступает в стационарную ударную волну и с высокой скоростью поддерживает сгорание в ней горючего. Быстрое догорание топливных компонентов и расплавление металлического порошка происходит за счет дополнительного окислителя в скачке уплотнения L_1. Вновь образовавшаяся за фронтом ударной волны на участке L_1 газовая струя, несущая металлический порошок разгоняется, в цилиндрическом насадке и со скоростью 2000-2500 м/сек направляется на поверхность обрабатываемых деталей 11 (трубопроводная арматура, шаровая поверхность клапанов).

Подаваемый термитный порошок через наклонные отверстия 12, расположенные на срезе цилиндрического насадка, обеспечивает поддержание стабильной температуры порядка 3000°С по всей длине факела горелки. Осуществляли газопламенное напыление хрома, алюминия, никеля, молибдена с использованием в качестве термитного порошка - алюминия или оксид алюминия, или смеси алюминия и оксида железа. Расход термитного порошка составлял 8-10% от массы напыляемого металлического порошка. Прочность сцепления покрытия с основой составила более 50 МПа, тогда как по известному способу - 45МПа.

Одним из практических вариантов использования прогрессивных технологий позволяющих упрочнить поверхности зубчатых зацеплений, является воздействие на рабочие поверхности зубьев высокоскоростным факелом горелки. Способ упрочнения зубчатых колес состоит в дробеструйной обработке эвольвентной поверхности зубьев ведомой шестерни привода шаровой мельницы для создания в поверхностном слое наклепа и развития в нем напряжений сжатия, а для увеличения точности работы зубчатого зацепления и устранения геометрических погрешностей перед поверхностной обработкой дробью и создания в новом слое наклепа ведомую шестерню передачи подвергают предварительной приработке ведущей закаленной шестерни в течении 10-12 часов при рабочем режиме мельницы, отличающийся тем, что после приработки осуществляют дополнительный нагрев поверхностного слоя зубьев до температуры ниже структурно-фазовых превращений, после чего поверхность зуба колеса подвергается дробеструйной обработке, причем нагрев осуществляется факелом ракетной горелки с возможностью перемещения и фиксации в направлении относительно обрабатываемой поверхности, а пятно контакта факела горелки располагается по всей высоте зуба, включая дно [11].

Выводы:

1. Выполнен анализ современных способов нанесения защитных покрытий износостойкими материалами, в высокотемпературных и высокоскоростных газовых потоках, с применением порошковых материалов из легирующих сталей;

2. Разработан способ газопламенного напыления металлических порошков, включающее подачу в камеру сгорания топлива, окислителя, металлического порошка, а также дополнительного окислителя с образованием напылительного потока, направляемого на поверхность обрабатываемых деталей, а в струю

напылительного потока, на выходе из камеры сгорания, вводят термитный порошок в количестве 8 - 10 % от массы напыляемого металлического порошка, в качестве которого используют алюминий или оксид алюминия, или смесь алюминия и оксида железа;

3. Предложено устройство для газопламенного напыления металлических порошков, включающее горелку с соплом, соединенный с горелкой цилиндрический насадок, трехканальный коллектор для подачи топлива и окислителя в камеру сгорания, кольцевой диффузор с каналами для подсоса дополнительного окислителя, магазин для подачи в сопло металлического порошка, и механизм для перемещения обрабатываемых деталей, а для подачи термитного порошка в газовый поток, на срезе цилиндрического насадка выполнены наклонные каналы.

Список литературы: 1. Современные технологии поверхностного упрочнения и нанесения покрытий: учебн. пособие/ Б.С. Зенин, А.И. Слосман; Томский политехнический университет. - 2-е изд. Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2012. - 120 с. **2.** Лащенко Г.И. Плазменное упрочнение и напыление. Экотехнология. Киев. 2003.-64 с. **3.** Порошковая металлургия и напыленные покрытия/ под ред. Митина Б.С. – М.: Металлургия, 1987.-792 с. **4.** Тополянский П.А. Финишное плазменное упрочнение инструмента и оснастки – итоги исследований и внедрений/ П.А. Тополянский, Н.А. Соснин, С.А. Ермаков//Технологии ремонта, восстановления, упрочнения и обновления машин, механизмов, оборудования и металлоконструкций. Материалы 6-й Международной практической конференции-выставки 13-16 апреля 2004 г. - Санкт-Петербург: Изд. СПбГПУ. - 2004 - С. 232-257. **5.** Ермеков Д.К., Поветкин В.В., Руткуниене Живилье. Состояние оборудования и технологий для нанесения износостойких покрытий на технологические оборудования. Вестник Казахстанско - Британского технического университета. Алматы. - № 1 (48) 2019. – 7-15 с. **6.** Ермеков Д.К., Поветкин В.В., Руткуниене Живилье. Влияние коррозионной среды на физико-химическое изнашивание деталей оборудования с износостойким покрытием. Вестник Казахстанско - Британского технического университета. Алматы. - № 2 (53) 2020. – 15-20 с. **7.** Костицына И.В. Коррозионная стойкость трубных сталей в агрессивных средах нефтяных и газовых месторождений: дис. … канд. техн. наук: 02.00.04: Челябинск, 2014 – 147 с. **8.** Поветкин В.В. Огнеструйная обработка гранитных блоков. – Алматы, 2001.-145 с. **9.** Инновационный патент РК 27057. Байшуаков А.А., Поветкин В.В., Карим М.С. Способ газопламенного напыления металлических порошков и устройство для его осуществления. Опубл. 14.06.2013, бюл. №6. **10.** Предварительный патент РК 15419. Поветкин В.В., Поветкин А.В., Байшуаков А.А. Установка для нанесения газотермических покрытий. Опубл. 15.02.2005. **11.** Инновационный патент РК 29620. Поветкин В.В., Сушкова О.А., Ибрагимова З.А. Способ упрочнения зубчатых колес привода шаровых мельниц. Опубл. 16.03.2015, бюл. №3.

ЭВОЛЮЦИЯ МЕХАНИЧЕСКИХ ДИСКОВЫХ БУНКЕРНЫХ ЗАГРУЗОЧНЫХ УСТРОЙСТВ ДЛЯ ДЕТАЛЕЙ С НЕЯВНОЙ АСИММЕТРИЕЙ ТОРЦОВ

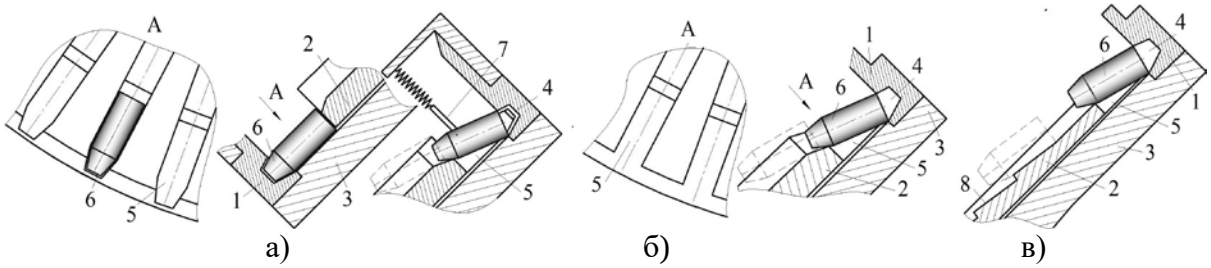
Прейс В.В. *(ТулГУ, г. Тула, Россия)*
Тел. +7 (4872) 734493; E-mail: rabota-preys@yandex.ru

Abstract: *The evolution of known designs of mechanical disk hopper feeding devices aimed at increasing their efficiency (productivity and reliability) when loading parts with non-explicit orientation keys, in particular, the asymmetry of the ends, is shown.*
Key words: *automatic rotor line, mechanical hopper feeding device, loading parts with non-explicit orientation keys, productivity, reliability.*

Одной из проблем при создании сборочных технологических систем на базе автоматических роторных линий является автоматическая загрузка комплектующих элементов. Для автоматической загрузки комплектующих элементов применяли и применяют до настоящего времени механические дисковые бункерные загрузочные устройства (БЗУ), принцип действия которых основан на использовании явно выраженных у деталей геометрических ключей ориентации. Наибольшее распространение получили конструкции механических дисковых БЗУ с наклонными вращающимися дисками, оснащенными захватывающими органами в виде радиально или тангенциально расположенных профильных гнезд и т.п. В последние десятилетия активно развивается разработка новых видов изделий специального назначения не массового выпуска. Это привело к появлению комплектующих элементов с неявно выраженными ключами ориентации, а в некоторых случаях – элементов с поперечной асимметрией. Вследствие этого эффективность применения традиционных конструкций механических дисковых БЗУ резко упала из-за снижения их производительности и надежности.

С целью устранения указанных недостатков была предложена идея разделения функций захвата и ориентирования элементов путем введения в конструкции БЗУ группового кольцевого ориентатора, реализующего способы пассивного ориентирования загружаемых элементов. Впервые эта идея была реализована в конструкции БЗУ с радиальными профильными гнездами и кольцевым ориентатором [1].

На рис. 1 представлена эволюция вариантов конструкции механического дискового БЗУ с наклонным вращающимся диском и радиальными профильными гнездами. Захват деталей 6, движущихся к гнезду 5 коническим торцом вперед, обеспечивается объемным захватывающим органом, образованным профильным гнездом с замкнутым контуром и сопряженным с ним кольцевым ориентатором 1, паз 4 которого в поперечном сечении повторяет конический торец детали (рис. 1, а).



а) б) в)

Рис. 1. Эволюция конструкции бункерного загрузочного устройства с кольцевым ориентатором и радиальными профильными гнездами (а), с прямоугольными гнездами (б) и гребенкой (в): 1 – кольцевой ориентатор, 2 – вращающийся диск; 3 – неподвижное основание; 4 – паз кольцевого ориентатора; 5 – радиальное гнездо; 6 – деталь; 7 – сбрасыватель; 8 – гребенка

Для загрузки более коротких и тяжелых деталей в конструкции БЗУ предусмотрен сбрасыватель 8, обеспечивающий принудительное выпадение частично запавших деталей 6 из гнезда 5 обратно в бункер.

Дальнейшее усовершенствование БЗУ было направлено на упрощение конструкции вращающегося диска и снижение трудоемкости его изготовления и сборки. Эти задачи были решены в конструкции БЗУ с радиальными прямоугольными гнездами [2]. В отличие от первоначальной конструкции, в этом варианте БЗУ (рис. 1, в) гнезда 5 выполнены открытыми в сторону кольцевого ориентатора 1, а наружный диаметр вращающегося диска 2 меньше внутреннего диаметра кольцевого ориентатора.

В рассмотренных выше вариантах конструкции БЗУ (см. рис. 1, а, б) во вращающемся диске 2 радиальные пазы, переходящие в гнезда 5, на всем своем протяжении имеют постоянную глубину, равную половине диаметра детали. Из-за высокой глубины радиального паза неправильно ориентированные детали, двигаясь в процессе пассивного ориентирования к центру диска, не удаляются из радиального паза в верхней части бункера, а при дальнейшем вращении диска снова движутся к гнезду и частично западают в них, препятствуя западанию в гнездо деталей в требуемом положении. Это снижает вероятность захвата деталей и производительность БЗУ.

Этот недостаток был устранен в следующей конструкции БЗУ (рис. 1, в), в которой дно радиальных пазов выполнено в виде гребенки 8 с чередующимися выступами и впадинами, равномерно уменьшаются до нулевой величины [3]. Гребенка затрудняет западание в сквозные гнезда неправильно сориентированных деталей 6 и обеспечивает их надежное удаление не только из сквозных гнезд 5, но и из радиальных пазов.

Предложенные конструкции механических дисковых БЗУ с радиальными гнездами и кольцевым ориентатором показали свою эффективность для загрузки полых или сплошных деталей с коническим торцом и ступенчатых цилиндрических деталей с отношением длины к диаметру цилиндрической части от 3 до 5 с производительностью от 200 до 300 шт./мин в зависимости от типоразмера загружаемой детали.

Идея применения кольцевого ориентатора для повышения надежности и производительности БЗУ при загрузке деталей с неявной асимметрией торцов была реализована и в конструкции механического дискового зубчатого БЗУ (рис. 2). Захват деталей 6, движущихся коническим торцом вперед, происходит между вертикальных зубьев 5, чередующихся с гнездами. Под вращающимся диском установлен кольцевой ориентатор 1, паз 4, которого направлен в сторону гнезд вращающегося диска.

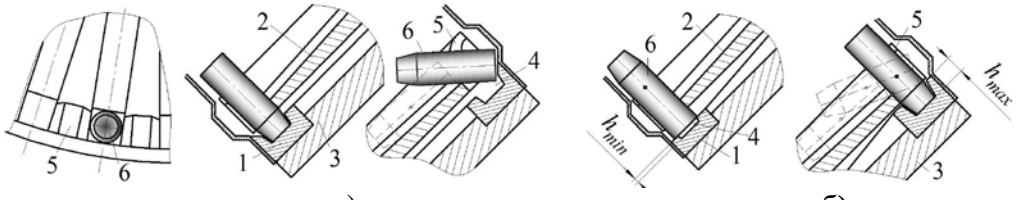


Рис. 2. Эволюция конструкции зубчатого бункерного загрузочного устройства с кольцевым ориентатором: а – глубина паза постоянна; б – глубина паза переменна; 1 – кольцевой ориентатор, 2 – вращающийся диск; 3 – неподвижное основание; 4 – паз кольцевого ориентатора; 5 – зубья диска; 6 – деталь

Если деталь 6 движется к гнезду коническим торцом вперед, то она погружается в паз 4 кольцевого ориентатора полностью, так как поперечное сечение паза кольцевого ориентатора соответствует профилю ее конического торца. В противном случае деталь опирается на верхний край паза кольцевого ориентатора и западает в гнездо не полно-

стью. При дальнейшем вращении диска деталь в верхней части бункера под действием силы тяжести выпадает обратно в бункер [4].

Для повышения надежности зубчатого БЗУ при загрузке деталей с высоким коэффициентом трения и отношением длины к диаметру цилиндрической части меньше 2,5 было предложено установить в верхней части бункера копир [5] в форме сегмента окружности с торцевым криволинейным профилем. Детали, запавшие в гнездо цилиндрическим торцом, опираются им на копир и надежно удаляются из гнезда.

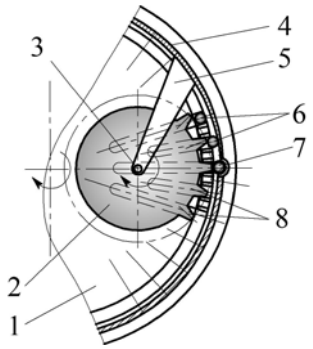


Рис. 3. Усовершенствование конструкции дискового зубчатого бункерного загрузочного устройства путем установки в зоне выдачи деталей в приемник вращающейся звездочки: 1 – вращающийся диск с зубьями и гнездами; 2 – зубчатая звездочка; 3 – ось; 4 – обечайка бункера; 5 – кронштейн; 6 – детали; 7 – приемник; 8 – зубья звездочки

С целью исключения повышенного износа кольцевого ориентатора, обусловленного трением конических или сферических торцов деталей о внутреннюю поверхность паза по всей окружности кольцевого ориентатора было предложено плавно изменять сечение паза кольцевого ориентатора по направлению вращения диска (рис. 2, б). При этом в нижней части бункера глубина паза минимальна $h_{\min}$ и не превышает одной четверти высоты асимметричного торца детали, а в верхней части бункера высота $h_{\max}$ не превышает всей высоты асимметричного торца детали [6].

Дальнейшее усовершенствование зубчатого БЗУ (рис. 3) было направлено на повышение надежности выдачи ориентированных деталей 6 из гнезд вращающегося диска 1 путем установки в зоне выдачи деталей с возможностью вращения вокруг неподвижной оси 3 зубчатой звездочки 2. Зубья 8 звездочки взаимодействуют с зубьями вращающегося диска 1 и деталями 6, находящимися в гнездах диска [7, 8]. При вращении диска 1 зубчатая звездочка 2 также начинает вращаться и своими зубьями 8 выталкивает детали 6 из гнезд вращающегося диска 1 в приемник 7.

Предложенные конструкции механических дисковых зубчатых БЗУ с кольцевым ориентатором показали свою эффективность для загрузки полых или сплошных деталей с коническим или сферическим торцом и отношением длины к диаметру цилиндрической части от 2 до 3 с производительностью от 200 до 400 шт./мин в зависимости от типоразмера загружаемой детали.

Список литературы: 1. Патент № 64977. Бункерное загрузочное устройство / Прейс В.В., Давыдова Е.В. Опубл. 27.07.2007. Бюл. № 23 (II ч.). **2.** Патент № 164711. Бункерное загрузочное устройство для заготовок с цилиндрической формы одного из торцов и конической формой другого / Прейс В.В., Давыдова Е.В. Опубл. 10.09.2016. Бюл. № 25. **3.** Патент № 2720017. Бункерное загрузочное устройство для цилиндрических заготовок с конической формой одной из концевых частей / Прейс В.В., Пантюхина Е.В. Опубл. 23.04.2020. Бюл. № 46. **4.** Патент № 100942. Бункерное загрузочное устройство / Голубенко В.В., Давыдова Е.В., Прейс В.В. Опубл. 10.01.2011. Бюл. № 1. **5.** Патент 106577 РФ. МПК^{8} B 23 Q 7/02. Бункерное загрузочное устройство / В.В. Голубенко, Е.В. Давыдова, В.В. Прейс, Д.А. Провоторов. Опубл. 20.07.2011. Бюл. № 20. **6.** Патент № 159403. Бункерное загрузочное устройство / Е.В. Давыдова, В.В. Прейс, А.В. Хачатурян. Опубл. 10.02.2016. Бюл. № 4. **7.** Патент РФ №183611. Бункерное загрузочное устройство для предметов обработки с неявно выраженной асимметрией торцов / В.В. Прейс, В.Ю. Токарев, А.В. Хачатурян. Опубл. 27.09.2018. Бюл. № 27. **8.** Патент РФ №192153. Бункерное загрузочное устройство для предметов обработки с неявно выраженной асимметрией торцов / В.В. Прейс, В.Ю. Токарев. Опубл. 05.09.2019. Бюл. № 25.

СОВРЕМЕННАЯ ПРОМЫШЛЕННАЯ РЕВОЛЮЦИЯ И СИСТЕМНАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ РОССИЙСКОЙ ЭКОНОМИКИ

Ракунов Ю. П., Абрамов В. В., Ракунов А. Ю.
(ИУ Московский государственный строительный университет, г. Москва, Россия)
Телефон: +7 (916) 8107126; *E-mail:* Rakunov1991@mail.ru;

Abstract: *The article considers scientific and methodological approaches to the problem of making an economic breakthrough in the Russian Federation in the context of the key tasks of the development of the Russian economy. The necessity of the transition to a new development model based on structural adjustment, technological modernization and innovation is substantiated. Given the growing technological backwardness of Russia from developed countries, the transition to an innovative development model is possible only within the framework of a consistent technical and economic policy of the state, with a clear goal-setting, resource and financial support. The core of the appropriate institutional environment should be strategic planning, capable of forming a cross-cutting vector of scientific and technological development of the country. Labor forms the creative space of the economy, acquiring a universal form and a new attitude towards the means of automated digital production.*
Key words: *technological modernization, efficiency limit, industrial revolution, electronic systems, unmanned production, technological structures, labor, knowledge, education, science, intersectoral balance.*

1. Введение

К современному техническому развитию приковано внимание научной мысли всего мира. Именно оно определяет положение любой страны в глобальном технико-экономическом пространстве, степень её доминирования, независимости либо подчинённости, а также благосостояние народа. Россия в лице СССР, достигшая в 20-ом столетии уровня второй индустриальной державы мира, в результате рыночных реформ оказалась поставщиком сырья на мировом рынке и импортёром высокотехнологической продукции. Предпринимаемые в 2000-е гг. усилия не изменили этого положения. Техническая деградация не преодолена, за исключением трёх отраслей: атомной, космической и оборонно-промышленного комплекса [1].

Перед страной стоит судьбоносная задача преодолеть техническое отставание в короткие сроки. Аналогичная задача была решена нашим Отечеством (СССР) в годы индустриализации (1928-1937 гг.) В течение 2-х 5-леток была создана промышленность мирового уровня и преодолено 50-100 лет отставания!!! В 1937 году по объёму промышленного производства СССР занял 1-ое место в Европе и 2-ое место в мире (после США). Мировой уровень советской техники послужил материальной основой Победы в Великой Отечественной войне. Этот исторический опыт показывает возможность решения нашим народом такой масштабной задачи. Для этого требуется понять суть современного научно-технического прогресса и сформировать адекватные формы его развития [2].

Анализируя изменения, которые происходят в современной экономике, российские исследователи используют выражения и понятия, пришедшие из других стран: третья промышленная революция [3,4]; четвёртая промышленная революция и Индустрия 4.0 [2,5-7]; цифровая революция и интернет вещей (Digital Revolution, Internet of Things); нанотехнологии и аддитивные технологии (nanotechnology, additive technology) и т.д. И это естественно. Более развитые экономики формируют и потребности, и терминологию для менее развитых стран и экономик. И российская экономика также вынуждена приспосабливаться к таким требованиям и вызовам, и давать на них адекватные теоретические и практические ответы. При этом необходимо определить реальные

возможности ответа на эти вызовы [4-7]. Одной из форм ответа является разработка разного рода стратегий экономического и технологического развития России на определенные периоды. В последние годы было принято несколько основополагающих документов, определяющих политику государства в сфере экономики в целом и в области развития технологии, в частности: «Стратегия инновационного развития РФ на период до 2020 г.» (19.11.2011); «Национальная технологическая инициатива» (18.04.2016); «Стратегия научно-технологического развития Российской Федерации» (1.12.2016); «Стратегия экономической безопасности Российской Федерации на период до 2030 года» (13.05.2017); «О национальных целях и стратегических задачах развития Российской Федерации на период до 2024 года» (7 мая 2018) [8].

При этом всегда отмечается отставание России в области разработки и внедрения новых и перспективных технологий, слабая вовлечённость в мировые «цепочки» создания прибавочной стоимости («добавленной» стоимости – термин спекулятивной экономики), а целью экономической политики ставится – «обеспечение независимости и конкурентоспособности страны», понимая под независимостью – «достижение самостоятельности в критически важных сферах жизнеобеспечения», а под конкурентоспособностью – «формирование явных по отношению к другим государствам преимуществ в научно-технологической области» [7,9-13].

2. Основное содержание и результаты работы

Новые стратегические направления техники и технологий определяются как: неоиндустриальная техника; постиндустриальная техника; 5-ый и 6-ой технологические уклады; 4-ая промышленная революция; цифровая экономика. Последние два термина довольно популярны. Описание содержания новой техники более однородно, чем её терминология. Тем не менее, в нём преобладает акцент именно на физико-технической, естественно-научной стороне современных новшеств. Именно она является элементом производительных сил, содержащих «программу» всей экономики данного типа. Всеобщая природа средств производства проявляется в радикальных переменах, которые она вызывает в положении труда в процессе производства. Человек непрерывно совершенствует средства производства. Происходят обычно лишь количественные изменения в пределах одного и того же качества. Эти изменения формируют технологические уклады, выражающие процесс эволюционного развития техники (средств производства) данного типа и типоразмера. Однако неизбежно наступает предел возможностей её совершенствования. Он преодолевается скачкообразным переходом к качественно новой технике, которая затем проходит длительный путь улучшения свойств, равный сроку (жизненному циклу) данной экономики. Именно так действует Закон диалектики «Переход количественных изменений в качественные». Параметры трёхзвенной машины (двигатель, передаточный механизм, рабочая часть) ограничены способностью человека контролировать их функции. Предел развития техники означает границу экономической эффективности. Обнаружение предела трёхзвенной машины (техники) указывает способ его преодоления: необходимо устранить человека из производственного процесса! Обычно, ко времени возникновения проблемы, уже существуют способы её решения. Электроника явилась средством преодоления предела использования трехзвенных машин: ***ЭВМ стала их управляющим четвёртым элементом***. Это звено в настоящее время кардинально преобразовало техническую основу экономики [2,5,6]. Диалектическая логика отобразила в общем виде рассматриваемый здесь этап технического прогресса. Всякое новое рождается из старого (предыдущего), ничего не теряя из предыдущего содержания, но качественно преобразуя его. Три звена машины старой индустриальной техники включены целиком в новую (цифровую) технику, содержащую управляющее устройство, которое заменяет человека. Это звено позволяет многократно увеличить параметры машины: мощность, скорость, точность,

технологические возможности, температурные режимы и т. п. Производительность машин и человека резко возрастает. Но это по-прежнему производительность именно труда, ибо всё в ней создаёт человек – от научных теорий до инженерных решений и претворения их в практику. Новая техника означает превращение науки в непосредственную производительную силу, включение её в экономическое пространство и предмет науки (НИОКР). Сущностью современной техники является система четырёхзвенных машин, которые появились в 60 - 70-х годах 20-го века: тогда было начато производство автоматических линий, станков с ЧПУ, робототехники, гибких производственных систем, автоматических аппаратов космической техники. В 1991 г. в СССР, согласно отчёту ООН, производилось 65000 промышленных роботов. Это второе место в мире после Японии [4]. С той поры четырёхзвенная техника бурно развивается, вызывая к жизни беспилотные машины и аппараты, безлюдные технологии, новые виды энергии и материалы, новые формы связи и передачи информации. Появились нанотехнологии, биотехнологии, 3D-печать, киберфизические системы (единые системы вычислительно-информационных средств и общих промышленных сетей) [11,12].

Всеобщий признак новой техники – безлюдное функционирование!!!. Критерием технических революций служит исторический переворот в социальном положении и роли труда. Согласно этому, автоматизация и роботизация производства представляет собой вторую (цифровую) промышленную революцию. Отнюдь не третью и не четвёртую. Первая промышленная революция обусловила наёмную форму труда и капитализм. Они дали простор прогрессу индустриальной техники, росту производительности труда и жизненному уровню рабочих. Но наёмный характер труда, его подчинение капиталу лишь усиливались. Критерий разграничения эволюционных и революционных изменений в развитии техники позволяет проникнуть в социальную суть техники как элемента производительных сил общества, определяющих характер общества. Без этого невозможно понять ни экономику, ни историю человечества. Вторая промышленная революция началась с 60 - 70-х г. 20-го века на Западе и в СССР в недрах индустриальной техники. Она продолжает своё становление в современной смешанной переходной экономике [2,5]. Автоматизация, роботизация производства в советский период находился в центре технико-экономической политики государства: в статистических ежегодниках их производство выделялось отдельной строкой. Так, в 1988 г. автоматических и полуавтоматических линий произведено 1227 комплектов, 9600 промышленных роботов, металлорежущих станков с ЧПУ – 22,3 тыс. шт., кузнечно-прессовых машин с ЧПУ – 2,1 тыс. шт [4]. В период реставрации капиталистических контрпродуктивных рыночных отношений и приватизации этот сектор был разрушен первым. Именно эти два события привели к техническому отставанию российской экономики.

Россия, продолжая развиваться в рамках сложившейся экспортно-сырьевой модели, в научно-техническом плане (за исключением атомной, космической отраслей и ОПК) заметно отстает от развитых и многих развивающихся стран по показателям освоения достижений современной научно-технической революции (НТР). Это подтверждается как отечественной статистикой, так и оценками крупных международных организаций [10]. Так, по объему высокотехнологичного экспорта в реальном выражении РФ находится на уровне Словакии, Дании, Бразилии, Румынии, уступая Китаю в 72, а Германии в 24 раза. Поступления от экспорта технологий в РФ в денежном выражении в 100 раз меньше, чем в США, и в 50 раз меньше, чем в такой маленькой стране, как Ирландия. Сегодня РФ по данному показателю сравнима с Тайванем. Большое отставание наблюдается по показателю внутренних затрат на науку в ВВП и по инновационной активности предприятий [7,10].

Достижение технологического прорыва предполагает одновременное решение двуединой задачи. С одной стороны, автоматизацию производства; развитие микроэлектроники, безлюдных технологий и т. п. С другой стороны, высвобождение людей из производства требует государственного регулирования их занятости. Рыночный механизм здесь бессилен. Он может привести к масштабному «чартизму», социальному взрыву. Безлюдные цифровые технологии выдвигают проблему подготовки кадров нового уровня и новых профессий. Здесь необходимы преобразования всей системы образования и науки, которая воплощает и формирует интеллект общества – в них содержится потенциал решения стратегических задач настоящего и будущего. Регулировать её развитие может представитель всего общества – государство. Крупный частный сектор может участвовать в этом ограничено, например, в НИОКР, переподготовке кадров.

Россия является единственной страной из группы G20, в которой в последнее 10-летие происходило абсолютное сокращение количества исследователей, инженеров, научно-исследовательских и проектных организаций!!!. По показателям доли расходов на науку в ВВП и на одного ученого РФ заметно уступает другим промышленно развитым странам. Таким образом, происходит снижение доли России в мировом научно-техническом потенциале [9,10]. Технологическое отставание серьезно тормозит повышение производительности труда, особенно в обрабатывающей промышленности, снижая конкурентоспособность выпускаемой продукции. Это касается, прежде всего станкостроения, роботизации и 3D-принтинга. Так, на 2018 г. обеспеченность промышленными роботами на 10000 занятых в РФ составляет 3, а в Южной Корее – 531 [7]. Крайне высока степень импортозависимости, особенно в инвестиционных отраслях, например, в станкостроении она достигает 70-90%. Позиции РФ в области ведущих технологий выглядит крайне скромно (исключение – сферы вооружений, космических и атомных технологий).

Целью высвобождения Человека из производства является его перемещение в творческое пространство производства знаний. Человек всегда производил знания. Но теперь он может не отвлекаться на простые работы, доступные машинам. Творческое пространство производства знаний безгранично. Ведь пока науке окружающий мир известен не более 5%. Она может объять занятостью всё Человечество. Однако предъявляя при этом постоянно растущие требования к образованию. Чем сложнее научная работа, тем большей умственной, физической и нервной энергии Человека она потребляет. Следовательно, концентрация Человека в творческом пространстве вызовет рост занятости в ноосфере и здравоохранении, сокращении рабочего дня и пенсионного возраста при росте продолжительности жизни. Ведь свобода и развитие интеллекта Человека происходит и в рабочее время и за его пределами, но в разных, одинаково необходимых его мышлению и культурным потребностям формах. Четырёхзвенная система машин создаёт тенденцию изменения социальной природы общества. Творческий труд имеет всеобщий характер. Его распространение вытесняет т. н. элиту общества. В будущем все люди станут элитарными. Уничтожение наёмной формы труда отправит частную собственность в историю. Возникнет новый способ соединения творческого труда с усложняющимися средствами производства. Новая техника станет основой общества социальной справедливости, что соответствует понятию Человек!!!. Однако речь идёт только о тенденциях современной смешанной экономики, возникающих в её недрах. Их реальность обнаруживается в процессах социализации существующих моделей смешанной экономики. ***Новая техника образовала для рыночного механизма новый непреодолимый «провал».*** Невосприимчивость частного бизнеса к современным инновациям наблюдается не только в России, но и развитых странах Запада. Развитие цифровой экономики это безусловная прерогатива

государственного регулирования. Отнюдь не случаен тот факт, что цифровая экономика пока охватывает главным образом сферу обращения – движение товаров, услуг, денег, информационных продуктов. Это способствует росту производительности труда посредством оптимизации кооперационных связей частного сектора, ускорению распространения передовых технологий. Однако в производство цифровые технологии внедряются труднее. Удельный вес цифровой технологии в промышленности России не значителен. При этом производство отечественной электронной продукции в 2018 г. снизилось примерно на 3,6% по сравнению с 2017 г. [7].

Автоматизация, роботизация российской промышленности задача трудная, учитывая износ основных фондов, по данным Росстата равный 49,1%, преобладание сырьевых отраслей в структуре экономики. Истоки её решения сосредоточены в модернизации машиностроения, и прежде всего в станкоинструментальной отрасли и микроэлектронике. Здесь начинаются (наблюдаются) некоторые позитивные изменения. Производство металлорежущих станков увеличилось в 2018 г. на 4,6%; коэффициент обновления машин и оборудования составил 4,8%. Однако низкие темпы роста экономики, высокий уровень паразитического потребления, оттока капитала и доли иностранного капитала в имуществе, акциях и прибылях предприятий и др. препятствуют развитию отрасли. Потребуется концентрация всех ресурсов и их перераспределение в сферу технологического прорыва. Опыт Китая показывает, что власти могут быстро прекратить отток капитала, вернуть созданный народом капитал из офшор и инвестировать в отечественную экономику. Цифровизация машиностроения требует замены импортной электроники западных образцов, ибо в них могут быть угрозы безопасности страны. Отечественные ЭВМ и электронные средства и программные продукты производятся и используются на предприятиях ОПК. Стратегической продукцией отечественного высокотехнологичного машиностроения и станкоинструментальной отрасли всегда признавались прецизионные станки и стандартизованный, унифицированный и специальный инструмент, позволяющий развивать и эффективно использовать высокотехнологичные производства независимо от конъюнктуры рынка. Поэтому импортозамещение дорогого (затратного) токарного и фрезерного инструмента с СМП зарубежного производства на ресурсосберегающий унифицированный режущий инструмент отечественной разработки с многократно перетачиваемыми РЭ представляется целесообразным и выгодным в настоящее время [14]. Для машиностроения как основного звена технологического прорыва, продукция такого рода является первоочередной потребностью.

Второй стороной технологического рывка является формирование экономического механизма. Таковым является экономическая политика государства. Главной функцией экономической политики является обеспечение сбалансированного воспроизводственного процесса на основе технического прогресса. Однако она требует преобразований с целью соответствия новой технике. Во-первых, её фрагментарное нынешнее состояние превратить в целостную систему. Это обеспечивается посредством стратегического планирования на основе межотраслевого баланса. Тем самым выявляются необходимые пропорции экономики. ***Рыночный механизм это решает колебаниями цен и кризисами.*** Но стимулировать новую технику таким образом невозможно. Именно в этом причина того, что задачи модернизации экономики, инновационного развития, импортозамещения, четырёх национальных программ в 2000-х гг., не были выполнены. Новый механизм регулирования выстроить не так сложно. Наша страна располагает богатой практикой разработки балансов. Правовая основа нового механизма заложена в законе о стратегическом планировании в РФ. Непонятна причина торможения ввода его в действие!? Деградация экономики РФ и др. постсоветских государств стала следствием выполнения рекомендаций

«убийц» из МВФ. Ущерб РФ от проведения этой политики, начиная с 2014 года оценивается в 27 трлн рублей недопроизведённого ВВП и 15 трлн рублей несделанных инвестиций, а её следствием является снижение реальных доходов населения на протяжении 6 лет! Рецессия РФ в 2020 г. составит около 6% и будет наибольшей из всех развивающихся стран. Выше будет только Хорватия и Болгария: прогноз Всемирного банка (ВБ)!

Экономическая политика становится полной системой, если она включает три звена. Центральным звеном являются институты и инструменты, формирующие общественные приоритеты и ориентиры развития экономики. Оно определяет фундаментальные макроэкономические пропорции реального сектора и способы их достижения. К ним относятся пропорции между средствами производства и предметами потребления; амортизацией, возмещением; доходами и инновациями; развитием науки, техники и др. Кроме того, именно в этом звене разрабатываются генеральные схемы размещения производительных сил. В условиях огромного пространства страны, её климатического, природного разнообразия, неравномерного размещения людских и природных ресурсов такие расчеты чрезвычайно важны. Два других звена составляют кредитно-денежная и бюджетно-налоговая политика. Деньги являются кровью любой рыночной (товарно-денежной) экономики.

Сохранение в РФ научно-технического потенциала позволит выпускать вдвое больше продукции, чем в настоящее время! До конца 2021 г. мы должны не просто преодолеть вызванное самоизоляцией населения падение производства и доходов граждан, а выйти на траекторию опережающего развития экономики с ростом реальных доходов и зарплаты не менее 7%. [10]. ***Для этого необходимо:***

1) Законодательно обязать ЦБ РФ (Банк России) отвечать за экономический рост – денежно-кредитная политика должна быть включена в систему стратегического планирования; подчинить её инструменты цели опережающего развития экономики при обеспечении макроэкономической стабильности!
2) Установить целевые показатели деятельности госбанков, включая абсолютные и относительные показатели кредитования реальной производственной сферы, особенно инвестиционных проектов;
3) Включить коммерческие банки в систему обеспечения стратегического планирования в части кредитования инвестиций, необходимых для реализации принимаемых решений.

Рекомендации по выходу из кризиса академика РАН Глазьева С. Ю. **[10,13].** Необходимо закрыть биржевое «эльдорадо» для спекулянтов путём запрета кредитования валютных спекуляций ЦБ и неуклонной декриминализации других сфер финансового регулирования, включая пресечение манипулирования рынком со стороны валютных спекулянтов и прекращение банковского рейдерства! Необходим перевод фондового рынка на рубли: разрешить эмиссию акций и конвертируемых облигаций российских эмитентов только в рублях!!! Обязать эмитентов, разместивших свои акции и деривативы на акции в иностранной валюте, провести делистинг таких ценных бумаг. При реализации этих мер никаких ограничений на валютообменные операции физических лиц накладывать не придётся, т. к. реальные риски для курса рубля исходят не от наличного рынка, а ничем неограниченных спекуляций ЦБ и госбанков!

Необходимо увеличение в 3 раза объёма льготных кредитных линий на поддержку малого и среднего бизнеса, жилищного строительства, сельского хозяйства, рефинансируемых ЦБ через специализированные институты развития федерального и регионального уровня под 2% годовых, включая ипотеку. Дать разрешение заёмщикам применять форс-мажор по отношению к кредитам, предоставленным кредиторами

стран, установивших и вводящих санкции против РФ. В случае эскалации санкционных мер – введение моратория на погашение и обслуживание кредитов и инвестиций, полученных из государств, применяющих санкции против РФ. На время действия санкций запретить дочерним подразделениям американских и европейских банков привлечение новых средств российских физических и юридических лиц.

Поэтому в настоящее время объективно складывается обмен между странами в национальных валютах при условии обеспечения денежной массы каждой страны товарами, производимыми экономиками этих стран. На мировой рынок всё более весомо выходит Юань (Китай) и видимо к 2030 году он будет доминировать в качестве меры оценки товаров и услуг. Китай в настоящее время перестраивает всю мировую финансово-экономическую систему [10-12].

Следовательно, определяя место экономики РФ в мировой масштабе, следует руководствоваться измерением ВВП на основе объективных критериев, которые необходимо будет определить в ближайшем будущем. То, что в данный момент этот показатель довольно резко изменяется – естественно для порочной мировой системы капитализма (империализма), где все показатели постоянно колеблются (курсы акций, капитализация фирм, валютный курс, товарные цены, уровень богатства страны и отдельного человека и т. д.) [10-13].

Как известно, капитал – самовозрастающая стоимость. Отсутствие необходимых условий накопления определенной величины денежных средств, оборудования и технологий, а также необходимого количества и качества рабочей силы не позволяет капиталу реализовать себя в этом качестве. В условиях открытости национальной экономики российской обрабатывающей промышленности выдержать конкуренцию с мировыми производителями затруднительно, но в некоторых отраслях, например, авиационно-космической, атомной, ВПК и даже станкостроительной и инструментальной, вполне нам по силам и способностям!

Вторая промышленная революция (4-я, цифровая, 5-6-й технологические уклады,…) продолжают свою поступь по странам и весям. Она далека от завершения [2,9]. В современной смешанной экономике, включая российскую, количественно пока преобладает индустриальная техника. Рыночный механизм для цифровой техники является тормозом, за исключением мелкого бизнеса сферы услуг, торговли и т. п. Но он жизнеспособен для индустриальной техники, где сосредоточены крупные ресурсы. Его согласованность с общенациональными интересами, подключение к решению национальных программ – важный фактор повышения эффективности экономики. ***Развитие же науки и техники осуществляется государственным регулированием.***

3. Выводы

К основным экономическим задачам РФ, которые требуют решения относятся:

- повышение уровня и качества жизни на основе устойчивого роста экономики, т. е. реального ВВП на 1-го человека, исчисленного в надёжной валюте по рыночному курсу;

- изменение структуры экономики, повышение в ВВП доли отраслей с высокой именно прибавочной (а не добавленной, т.е. спекулятивной) стоимостью, уменьшение доли сырьевого сектора и развитие высокотехнологичных отраслей с высокой нормой прибыли; правило всей экономики: чем больше количество технологических переделов, тем больше норма прибыли!

- повышение доли ВВП РФ в мировой экономике с использованием передовых конкурентоспособных производственных технологий.

Это предполагает:

- наличие конкурентоспособного национального капитала во всех его формах: денежной, производительной и товарной;

- включенность в международное разделение труда производством товаров с высокой прибавочной стоимостью;

- достижение темпов экономического роста выше среднемировых.

Считается, что **Индустрия 4.0** в настоящее время – это обязательно конкурентный вызов мировым производителям той или иной продукции. Иначе в условиях глобальной экономики быть не может [6,9,11]. В противном случае – протекционизм и потребление продукции собственного производства. Конкурентоспособность производства предполагает не только наличие «ноу-хау», но и технологий, оборудования и обязательно определённый объём инвестиций. Модернизация высокотехнологичной экономики России требует качественно иного уровня капиталовооруженности производства [10-13]. Без определенного «стартового» уровня инвестиций нельзя наладить выпуск конкурентоспособной на мировом уровне продукции. Во многих высокотехнологичных отраслях требуется определенная критическая масса инвестиций для организации конкурентоспособного процесса производства. ***В условиях глобализации и открытости экономики это становится аксиомой. Современная экономика страны – это обязательно часть мировой экономики, т. е. экономика, включенная в международное разделение труда, построенная на справедливой основе.***

Список литературы: **1.** Глазьев С. Ю. Переход на новый – гуманитарный технологический уклад. // Модернизация российской экономики. Уроки прошлого, шансы, риски. М., 2012. **2.** Ленчук Е. Б. Формирование промышленной политики России в контексте задач новой индустриализации. 2018. №3. С. 138-145. **3.** Народное хозяйство СССР. Статистический ежегодник. М.: Финансы и статистика, 1989. 389 с. **4.** Ставинский И. Капитализм сегодня и капитализм завтра. М.: URSS, 1997. 160 с. **5.** Форсайт «Россия»: Новое индустриальное будущее. Т.1 / под ред. С.Д. Бодрунова. СПб: ИНИР, 2018. **7.** Шваб Клаус. Четвертая промышленная революция. М.: Эксмо, 2016. **8.** Экономическое положение России. 2018. Указ Президента РФ от 07.05.2018 № 204 «О национальных целях и стратегических задачах развития Российской Федерации на период до 2024 года». Режим доступа: // http://www.kremlin.ru/acts/bank/43027. **9.** Новая технологическая революция: вызовы и возможности для России: экспертоаналитический доклад / под рук. В. Н. Княгинина. М.: ЦСР, 2017. Режим доступа: http://csr.ru/wp-content/uploads/2017/10/novaya-tehnologicheskaya-revolutsiya-2017-10-13.pdf **10**. Глазьев С. Ю., Малофеев К.Э. Россия может использовать кризис «уханьской чумы». Телеканал «Царьград». 09.06.2020. **11**. Петров А.Н. Проблемы идентификации драйверов и субъектов научно-технического развития страны/ А.Н. Петров, Н.Г. Куракова // Инновации. 2018. № 9(239). С. 6-12. **12**. Данилин И. Национальная технологическая инициатива: новый фокус и вызовы реализации российской инновационной политики / И. Данилин, З. Мамедьяров // Год планеты: ежегодник. М.: Идея-Пресс, 2016. С. 121-131. **13**. Глазьев С. Ю. Кризисная воронка. Как разорвать порочный круг самоуничтожения российской экономики. Газета ВПК. №23(836). С. 5. www.vpk-news.ru. **14.** Многократно перетачиваемый резец: Патент РФ №2226453 / Ракунов Ю.П., Хрульков В.А., Золотова Н. А., Тихонов Н. А. – Бюл. № 10, 2004.

ОСОБЕННОСТИ ПРОЦЕССА ЛАЗЕРНОЙ СВАРКИ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ИЗДЕЛИЙ

Рахимов Р.Р., Исрафилов И.Х., Звездин В.В., Саубанов Р.Р.
(*НЧИ К(П)ФУ, г. Набережные Челны, Россия*)
Тел.:+7 (8552) 589538, Email: rafisih88@mail.ru

Abstract: *Based on experimental studies, the features of the formation of a weld in metals are described. The quality of the welding process depends on the energy characteristics, temperature of the weld pool, as well as on the quality of the butt surfaces. The results obtained make it possible to build the dependence of quality indicators on the parameters of the technological process and to further build an automated control system for the laser technological complex.*
Key words: *laser radiation, quality, technological process, parameters, weld.*

Введение. Сварка лазерным излучением представляет собой технологический процесс получения неразъемного соединения частей изделия путем местного расплавления лучом лазера и последующей кристаллизации материалов. Лазерное излучение обеспечивает высокую концентрацию энергии в световом пятне, превосходя многие источники энергии на несколько порядков. Для сварки плавлением могут быть использованы твердотельные и газовые лазеры как непрерывного, так и периодического действия. Данный вид сварки используется для сварки одинаковых и разнородных металлов, а также заготовок разной толщины в многочисленных отраслях промышленности.

Исходя из литературного обзора, можно сделать выводы, что лазерная сварка металлов широко применяется благодаря преимуществам, которые выделяют ее на фоне остальных способов получения неразъемных соединений. Кроме обеспечения высокой точности соединения; производительности процесса сварки, локальности воздействия, лазерная сварка характеризуется возможностью реализации механизма «кинжального проплавления», наименьшими тепловложениями (высокий энергетический КПД процесса), возможностью точного дозирования подвода энергии в зону сварки по сравнению с другими методами сварки. Поэтому ее применение целесообразно как с точки зрения остаточных напряжений и деформаций, так и с позиции уменьшения размеров зоны термовлияния. Также следует отметить следующие преимущества лазерной сварки: снижение коробления деталей после сварки, повышение технологичности изготовления деталей, высокая степень автоматизации.

Актуальность задачи по исследованию технологических особенностей лазерной сварки металлов объясняется необходимостью получения сложной зависимости качества получаемых изделии от параметров технологического процесса [1-3, 6].

Технологические особенности лазерной сварки металлов

Высокая концентрация энергии лазерного излучения в процессе сварки обеспечивает малый объем расплавленного металла, небольшие размеры зоны термического влияния, высокие скорости нагрева и охлаждения сварного шва. Снижение зон термического влияния уменьшает деформацию деталей в целом, а в зонах вблизи шва уменьшает структурные и фазовые превращения, снижает остаточные напряжения, которые проводят к образованию таких дефектов как горячие трещины, холодные трещины и газовые поры в шве, влияющие на усталостные характеристики и механические свойства швов при сварке лазером.

Возможность точного дозирования энергии, а также высокая точность и концентрация ее, позволяют сваривать детали малых толщин с высоким качеством, превосходящим традиционные виды сварки.

Требования к качеству сварного шва многообразны. Они зависят от технических требований к изделию, от требований потребителя и т.д. Самыми главными являются механические свойства соединений, геометрия сварного шва, технологическая прочность, размеры литой зоны, химический состав, отсутствие дефектов, структура шва.

Диаметр сфокусированного луча влияет как на площадь обработки, так и на плотность мощности. Из теории известно, что оптимальный диаметр сфокусированного пятна находится в диапазоне от 0,5 до 1 мм. Это объясняется тем, что при уменьшении диаметра пятна некоторого критического значения, для данного изделия, плотность мощности становится слишком велик, металл перегревается, начинаются испарительные процессы и шов формируется с образованием большого количества дефектов. При диаметре пятна более 1,0 мм эффективность лазерного луча как источника концентрированной энергии снижается.

Скорость сварки влияет на распространение тепла в сварном соединении. Из теории тепловых процессов известно, что с увеличением скорости теплового источника (лазерного излучения) площадь теплового воздействия вокруг него, имеющие определенную температуру, уменьшаются, а соответствующие изотермы сужаются в направлении, перпендикулярном оси шва, и сгущаются перед источником. От скорости сварки в значительной степени зависят геометрия проплавления, структура шва и околошовной зоны, а также свойства и химический состав сварных соединений, влияющие на качество сварного соединения.

Фокусные расстояния линз находятся в диапазоне 150...350 мм. Нижний предел выбирают таким образом, чтобы можно было исключить интенсивное парообразование металла и запыление линзы. Верхний предел ограничен возникновением аберраций и снижением эффективности проплавления. Причем на качество сварного соединения во многих случаях влияет положение перетяжки лазерного излучения относительно поверхности изделия. В определенных случаях необходимо сместить фокусное пятно вглубь материала, а в некоторых, наоборот поднять на некоторое расстояние от поверхности стыка. При этом изменение положения перетяжки будет влиять на форму плазменного факела. На изменение формы плазмы при одинаковом расходе газов оказывает влияние плотность мощности, которая при сварке постоянно изменялась, в направлении от минимальных значений к максимальным

При лазерной сварке с глубоким проплавлением металл шва защищают от окисления защитным газом. Для защиты зоны лазерной сварки можно использовать флюсы такого же состава, что и при дуговой сварке. Применяют их в виде обмазок, наносимых на свариваемые кромки [4-5].

Исследование особенностей процесса сварки металлических изделий

Для апробации технологии лазерной сварки изделий из низкоуглеродистых сталей толщиной 1, 3 и 4 мм проведены экспериментальные исследования. Одной из необходимых стадий процесса лазерной сварки является предварительная подготовка свариваемых поверхностей. Поверхность металла в зоне сварки очищается от окалины, ржавчины, других загрязнений, а также от влаги. Подготавливались образцы следующим образом: цельную пластину размечали на образцы с определенными размерами и производили лазерную резку, далее полученные образцы закреплялись в стык без зазора на сварочный стол и при помощи установки для ЛС выполняли прихватки (мощность лазера составляла 500 Вт., фокусное расстояние в 155 мм. и время выдержки луча одна секунда). Лазерная сварка образцов производилась на лазерном технологическом комплексе, на базе оптоволоконного лазера ЛС-2.

Поверхности шва от окисления защищались аргоном. Сварка проводилась при мощности излучения до 2 кВт. Количество швов получилось около 26 шт. Ниже показаны некоторые из них.

На рис. 1. показан о*бразец 1 толщиной 1 мм из конструкционной стали.*

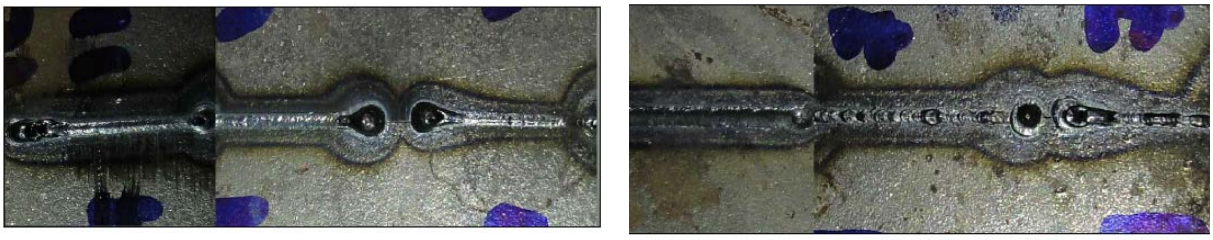


Рис. 1. Общий вид швов № 5-7.1-7.2 и 11-12-13 соответственно (слева-направо)

На рис. 2. показан образец 3 толщиной 3 мм из конструкционной стали.

Рис. 2. Общий вид швов № 15-16-17 и 19-20-21 соответственно (слева-направо)

Швы, выполненные на стали толщиной 1, 3 и 4 мм лазером за один проход со сквозным проплавлением, имеют ширину соответственно 0,3…2,5 мм. При этом большие значения относятся к лицевой стороне. В срединной части на глубине 0,3…0,8 толщины стали швы могут быть уже.

Для сварки стали толщиной 1 мм применялась лазерная сварка со скоростью $V_{св}$ = 10-20 мм/с при мощности лазерного излучения 500-600 Вт.

Для сварки стали толщиной 3 мм применялась лазерная сварка со скоростью $V_{св}$ = 10-20 мм/с при мощности лазерного излучения 1000 Вт.

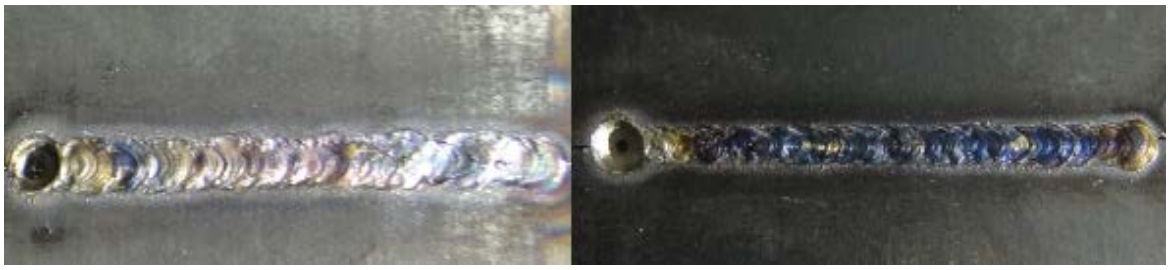
Для сварки стали толщиной 4 мм применялась лазерная сварка со скоростью $V_{св}$ = 5-10 мм/с при мощности лазерного излучения 1500 Вт.

Швы, выполненные на стали толщиной 4 мм лазером за один проход со сквозным проплавлением, имеют ширину соответственно 0,3…2,5 мм. Формирование сварочных соединений с заданными параметрами лазерной сварки приведены на рисунке 3.

Необходимы проведение дальнейших исследований влияния лазерной сварки непосредственно на качество сварного соединения и определение механических свойств, полученных данным способом сварки. А также составление справочных материалов для определения оптимальных параметров лазерной сварки постоянного действия для разных толщин свариваемых деталей [6].

Выводы.

Основное влияние на технологический процесс лазерной сварки металлических изделий оказывают физико-химические свойства, наличие или отсутствие защитной среды, в которой происходит процесс сварки. Для достижения требуемых показателей качества технологического процесса необходимо обеспечить лазерную сварку в среде нейтральных газов. По результатам исследовании выявлено:



а

б

Рис. 3. Сварочное соединение образца 2 с толщиной 4 мм.. Швы 1-4

1. При мощности лазера 1500 Вт стыковые соединения стали толщиной до 4 мм выполнимы со сквозным проплавлением; 2. Качество формирования соединения улучшают путем регулирования скорости и погонной энергии.

Список литературы: 1. Григорьянц, А.Г. Технологические процессы лазерной обработки: Учеб. пособие для вузов / А.Г. Григорьянц, И.Н. Шиганов, А.И. Мисюров. – Москва: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2006 – 664 с. **2.** Моделирование процессов лазерной термообработки. / Рахимов Р.Р., Звездин В.В., Исрафилов И.Х., Набиуллина Г.И., Саубанов Р.Р. // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2014. № 11-2. С. 476-484. **3.** Исследование процесса лазерной сварки разнородных металлов / Звездин В.В., Рахимов Р.Р. // Социально-экономические и технические системы: исследование, проектирование, оптимизация. 2017. № 2 (75). С. 16-23. **4.** Технологические особенности лазерной сварки чугунов с вермикулярным графитом / Звездин В.В., Клочкова К.В., Рахимов Р.Р., Саубанов Р.Р., Песошин В.А. // Инновационные машиностроительные технологии, оборудование и материалы - 2017 (МНТК "ИМТОМ-2017") Материалы VIII Международной научно-технической конференции. 2017. С. 281-284. **5.** Технологическое обеспечение качества поверхности при лазерной наплавке с использованием плазменной очистки / Рахимов Р.Р., Саубанов Р.Р., Звездин В.В., Хисамутдинов Р.М. // Низкотемпературная плазма в процессах нанесения функциональных покрытий. 2019. Т. 1. № 10. С. 294-298. **6.** Технологические особенности лазерной сварки металлических изделий / Рахимов Р.Р., Звездин В.В. // Социально-экономические и технические системы: исследование, проектирование, оптимизация. 2020. № 2 (85). С. 29-36.

КЛАССИФИКАЦИЯ УГРОЗ ВАЖНЫМ ОБЪЕКТАМ ЭНЕРГЕТИКИ

Розоринов Г.Н. *(НТУУ "КПИ имени Игоря Сикорского", г. Киев, Украина)*
Тел./Факс:+38 (099) 0447802; E-mail: grozoryn@gmail.com

Abstract: *Classification of possible threats to the especially important objects of energy is developed. Classification is conducted on different properties and signs, that helps to choose the reliable in exploitation hardwares of guard and define measures on providing of physical defence of important object. The offered classification can be utillized and for the decision of informative safety tasks at possible cybernetic threats.*
Keywords: *object of energy, threat, anthropogenic, technogenic.*

Введение. Важнейшими мероприятиями по обеспечению надежного функционирования и живучести особо важных объектов энергетики (ОВОЭ) является комплексная система физической безопасности. В первую очередь это связано с защитой от несанкционированного проникновения на территорию объекта. Для успешного решения задач физической безопасности, целесообразно, на первом этапе проектирования комплекса инженерно-технических средств охраны (КИТСО) определить источники возможных угроз ОВОЭ и собственно КИТСО, который должен эксплуатироваться на данном объекте. Это позволяет значительно повысить надежность функционирования (живучесть) ОВОЭ и КИТСО. Наиболее простым способом решения этой задачи является составление списка угроз для конкретного объекта и средствам его охраны. Данный способ используется и для решения важнейших комплексных инженерно-технических задач: организационных, научно-технических, правовых и других. Наличие списка значимых угроз, их вероятностная оценка с учетом модели нарушителя является базовой информацией для построения эффективной системы физической защиты [1].

Для построения более полного перечня угроз и их оценки целесообразно пользоваться классификацией угроз.

Целью работы является разработка классификации угроз по разным признакам, которую можно применить для повышения живучести особо важных объектов энергетики и КИТСО.

Основная часть

Для достижения оставленной цели необходимо проанализировать существующие классификации угроз в конкретной и смежных областях науки и техники, синтезировать и усовершенствовать известные классификации.

Проведенный поиск по доступным литературным источникам дал возможность сделать следующие выводы:

– большое число публикаций, касающихся информационной безопасности, направленных на разные объекты информатизации;

– очень малое число работ в области информационной безопасности, посвященных топливно-энергетическому комплексу, в частности, нефтедобывающим и нефтеперерабатывающим предприятиям и трубопроводам;

– публикации по информационной безопасности, в основном, сосредоточены в специализированных изданиях, научно-технических журналах, монографиях, учебных пособиях, диссертационных работах, сети Интернет;

– представленные в публикациях материалы являются неполными, дополняют или копируют один другого;

– прослеживается усовершенствование классификаций. Существует тенденция нестабильности классификаций по основным признакам;

– публикаций, касающихся физической защиты каких-либо объектов и КИТСО не было обнаружено.

Для разработки классификации возможных угроз рационально пользоваться их основными признаками и свойствами. Кроме того, необходимо придерживаться определенных правил, применяемых при разработке классификаций исследуемых объектов или процессов. К основным признакам угроз можно отнести: виды угроз, различные проявления воздействий (искусственных и природных) на объекты, разнообразные проявления и характер воздействия каких-либо источников угроз на объекты, различные методы и средства реализации угроз [2–4].

Источниками угроз могут быть как субъективные (личностные) так и объективные обстоятельства. Источники угроз могут находиться как внутри охраняемого объекта – внутренние источники, так и вне объекта – внешние источники. Разделение на внутренние и внешние источники обосновывается тем, что для одной и той же угрозы методы противодействия ей могут быть разными [5, 6].

На рис.1 показана общая классификация угроз, которая включает в себя как естественные, так и искусственные причины возникновения [2, 6, 7].

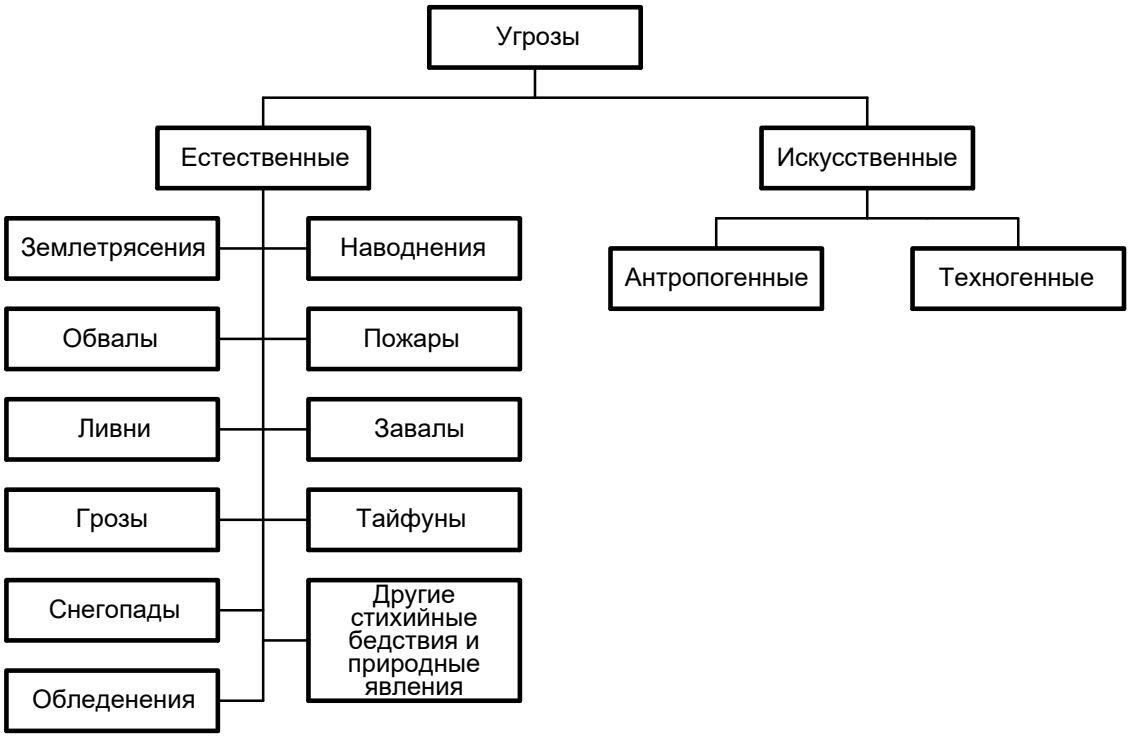


Рис.1. Общая классификация угроз

Как естественные, так и искусственные угрозы могут привести к возникновению чрезвычайной ситуации на ОВОЭ. Анализ и классификация возможных угроз, їх численная оценка являются одними из основных аспектов при решении задачи обеспечения физической защиты ОВОЭ и надежного функционирования КИТСО.

Антропогенными источниками угроз выступают субъекты, действия которых могут быть квалифицированы как преднамеренные или случайные преступления. Эта группа наиболее большая и представляет наибольший интерес с точки зрения организации защиты правово-техническими мероприятиями. Это связано с тем, что действия субъекта всегда можно оценить, спрогнозировать и принять адекватные контрмеры. Методы противодействия в этом случае управляются и непосредственно зависят от работы службы безопасности объекта.

Как антропогенный источник угроз можно рассматривать субъект, который имеет доступ (санкционированный или несанкционированный) к работе КИТСО защищаемого

объекта. Также к антропогенным угрозам относятся субъекты (источники), действия которых могут привести к нарушению нормального функционирования ОВОЕ или КИТСО.

Антропогенными источниками угроз ОВОЕ и КИТСО являются, например, субъекты, которые имеют доступ (санкционированный или несанкционированный) к технологическому оборудованию, конфиденциальной информации, КИТСО объекта. Эта группа угроз достаточно большая и представляет наибольший интерес с точки зрения организации защиты, потому что действия субъекта всегда можно оценить, спрогнозировать и реализовать адекватные организационно-технические мероприятия [2, 3, 6, 7]. Такие угрозы различаются степенью мотивации: неумышленные (случайные), умышленные.

По нахождению умышленных и неумышленных угроз относительно контролируемой зоны классификация выглядит так, как показано на рис. 2.

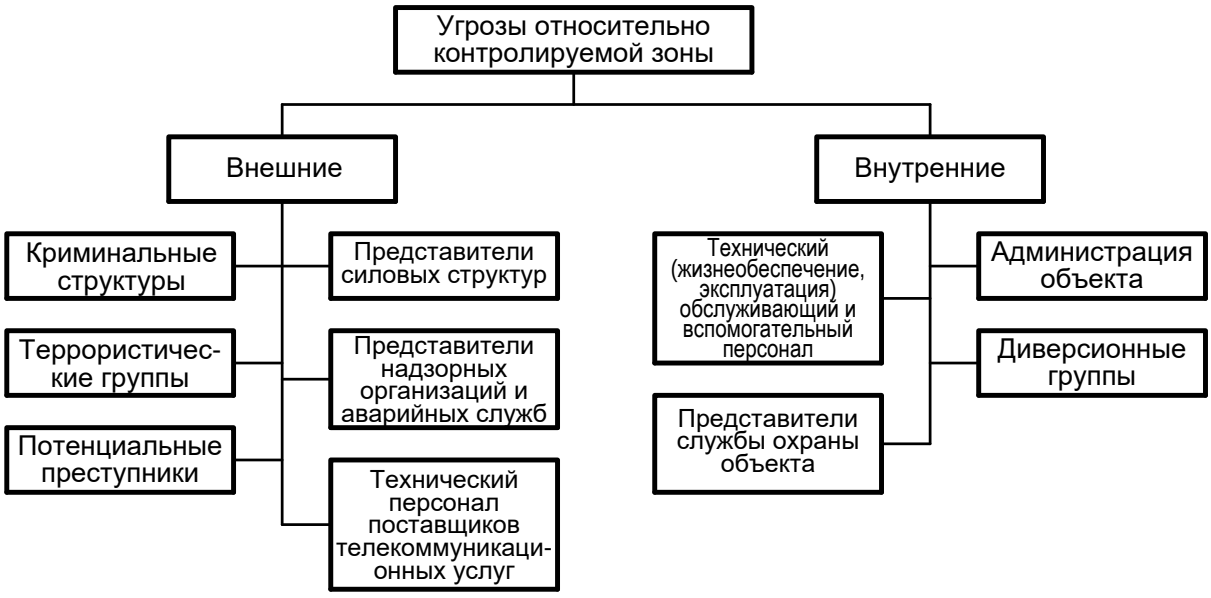


Рис. 2. Классификация угроз относительно контролируемой зоны

В проявлении внутренних угроз чаще выступают субъекты. Они, как правило, работают высококвалифицированными специалистами, которые хорошо ознакомлены со спецификой решаемых задач в области эксплуатации программного обеспечения, технологического и диагностического оборудования, а также КИТСО. Эти специалисты очень хорошо осведомлены в структуре, основных функциях и принципах работы программно-аппаратных средств технического оборудования [7].

Следующий класс угроз – техногенные угрозы. Они определяются технократической деятельностью человека и развитием цивилизации. Эти угрозы менее прогнозируемые, непосредственно зависят от свойств техники и потому нуждаются в особенном внимании. Этот класс угроз влияет на нормальное функционирование ОВОЭ и КИТСО и является особенно актуальным в исследованиях современных условий жизнедеятельности общества. В условиях, которые сложились в настоящее время, эксперты ожидают резкого роста числа техногенных катастроф на особо важных объектах, из-за физического и морального устарения технического парка используемого оборудования, а также отсутствия материальных средств на его обновление. К данному классу угроз относятся и сами КИТСО [13].

Для такого класса угроз была разработана классификация по основным признакам и свойствам путем адаптации и заимствования из других областей науки и техники [1-3, 5-7] (рис. 3).

Отметим, что по среде возникновения угрозы (естественной и искусственной) различают: воздушную, наземную, подземную и водную.

Например, запрещение (введение ограничений) государством выполнения объектом основной функции может возникнуть в результате загрязнения окружающей среды объектом энергетики.

Рис. 3. Классификация последствий от воздействия угроз

Полное прекращение нормального функционирования ОВОЭ наступает в результате его уничтожения или приведения в состояние, при котором объект не может быть восстановлен и должен быть построен заново (например, при полном сгорании, или разрушении несущих опор).

Временное прекращение нормального функционирования ОВОЭ – это выведение его из строя на период, необходимый для ремонта и восстановления. Такое состояние объекта характеризуется снижением эффективности его нормального функционирования. Например, для электростанции это выражается в снижении доли производимой ею электрической энергии.

Навязывание объекту выполнение несвойственных ему функций в интересах нарушителей заключается в возможном нападении на объект, при котором он становится объектом торга или используется для содержания заложников с последующими соответствующими действиями.

Утрата продукции на объекте означает: уничтожение, разворовывание, модификацию или полную потерю.

Утрата оборудования для ОВОЭ заключается в уничтожении, разворовывании, порче основного или вспомогательного оборудования и материальных ценностей. Данный показатель характерен для угроз как естественного, так и техногенного происхождения.

Практически важными являются классификации угроз по форме воздействия на объект и по масштабу последствий от их реализации (рис. 4, 5).

К частным видам классификаций можно отнести классификацию по частоте возникновения угроз: одиночные, периодические, случайные, – и классификацию по направленности на конкретный элемент объекта: технологическое оборудование, машинный зал, технические средства безопасности, несущие конструкции, зал оперативного управления.

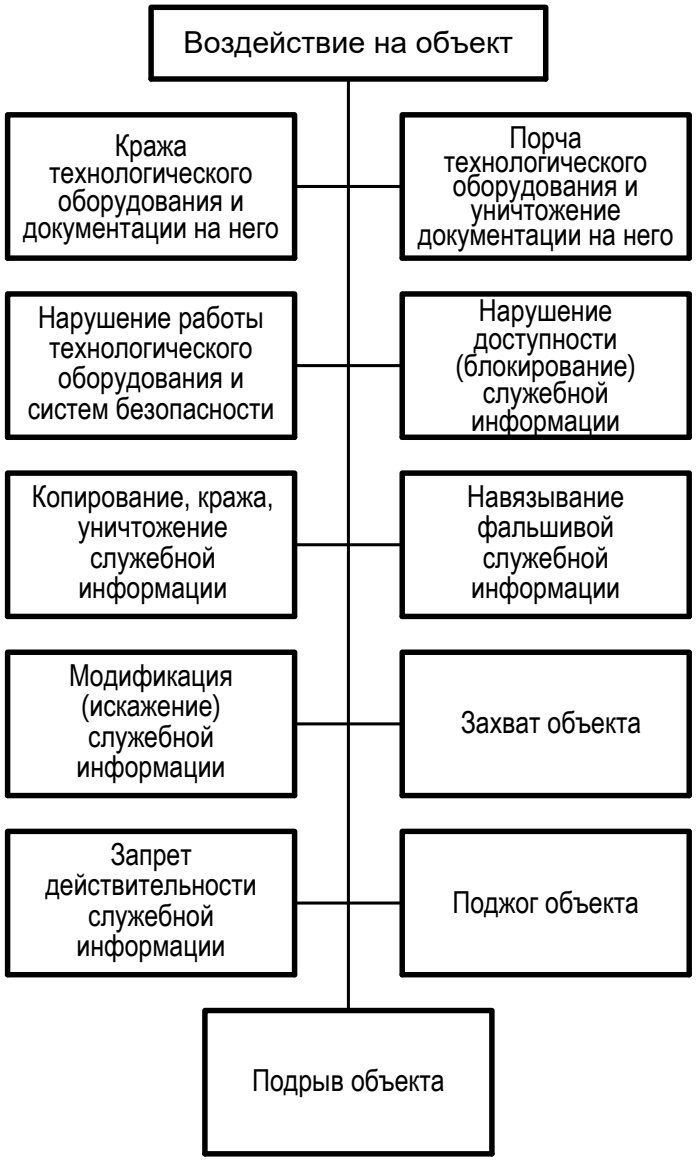


Рис. 4. Классификация по форме воздействия на объект

По времени действия угрозы могут быть: сверхкороткими, короткими, средними, длительными.

Сверхкороткие угрозы могут длиться от долей секунд до нескольких секунд (преодоление простых инженерных заграждений, воздействие электромагнитных помех, которые ухудшают условия работы оборудования). Этот тип угроз особенно опасен, если они осуществляются подготовленными и профессиональными нарушителями. Поэтому, такие угрозы необходимо своевременно предусматривать и прогнозировать.

Короткие по времени угрозы могут протекать от нескольких минут до нескольких часов.

К таким угрозам можно отнести природные явления (непродолжительные туманы, обильные снегопады, грозы и так далее).

Например, во время какого-либо природного явления нарушитель, который знает принцип работы КИТСО может проникнуть на объект энергетики незамеченным и осуществить запланированные акции.

Средние по времени угрозы могут протекать от нескольких часов до нескольких дней. К этой категории могут относиться такие же, упомянутые ранее природные явления.

Длительные по времени угрозы продолжаются от нескольких дней до нескольких месяцев. Одним из таких видов угроз может быть рытье подземного тоннеля на охраняемую территорию объекта энергетики, с минимальным риском выявления.

Различают также угрозы по месту их сосредоточения по территории объекта: в одном месте, во многих местах.

По возможным последствиям реализации угроз на объекте классификация выглядит так, как показано на рис. 6, а по способам их реализации они могут быть: механическими, химическими, биологическими, электромагнитными.

К тяжелым последствиям приводит невыполнение требований нормативно-технических документов, а именно: правил проведения подземных работ вблизи ОВОЭ, правил проведения надземных работ вблизи ОВОЭ, правил проведения надземных работ в водной акватории вблизи ОВОЭ, правил пролета воздушных судов вблизи ОВОЭ.

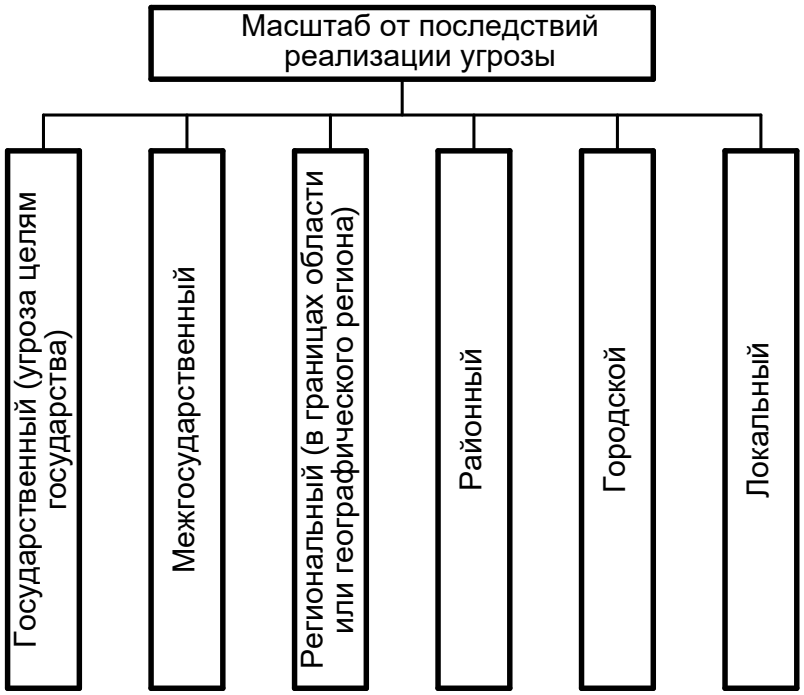


Рис. 5. Классификация по масштабу от последствий реализации угрозы

Для надежного функционирования КИТСО важную роль играет знание типа организованности нарушителей: одиночный, группа, внешний (группа), внутренний (группа), – и их профессионализма: дилетант, случайный, подготовленный, специалист, профессионал.

Тактика действий нарушителей при преодолении контролируемых зон весьма разнообразна. Это может быть: перелаз, пролом, подкоп, ползком, согнувшись на носках, прыжками, подкуп охранников. Такая тактика может быть применена, поскольку для активных и пассивных периметровых (объектовых) средств охраны есть возможность настроить их таким образом, чтобы они не реагировали на движение малых и средних по размерам животных в зоне действия КИТСО. При этом нарушители могут быть оснащены такими типами средств преодоления контролируемых зон: подручные примитивные средства и техника, самодельные средства и техника, специальные профессиональные средства и техника.

Рис. 6. Классификация возможных последствий от реализации угроз на объекте

Наконец, можно классифицировать угрозы по наносимым ими убыткам (рис. 7).

Предлагаемая классификация не является абсолютной и полной. Некоторые термины и определения могут претерпеть ряд изменений. В основ-

ном она относится к антропогенным угрозам, но частично и к техногенным угрозам.

Рис. 7. Классификация видов возможных убытков от реализации угроз на объекте

Выводы

Приведенная классификация поможет проектировщикам внедрять надежные в эксплуатации КИТСО, которые будут противостоять возможным проявлениям угроз объектам энергетики и самим средствам их охраны. Эту классификацию можно использовать и для решения задач, связанных с проведением организационно-технических мероприятий по информационной безопасности защищаемых объектов.

Список литературы: 1. Скрипник Д.А. Общие вопросы технической защиты информации. –М.: ИНТУИТ, 2010. – 293 с. **2.** Волков С.П. Анализ основных угроз в отечественном трубопроводном транспорте // Экономика России: основные направления совершенствования. Межвуз. сборник науч. трудов. – №6, 2005. – С. 34 – 39. **3.** Ничиков А. В. Перечень угроз: от общего к частному: Методический подход к формированию перечней угроз для охраняемых объектов / А. В. Ничиков // Системы безопасности. 2008. – Вып. № 2. – С. 30 – 35. **4.** Вихорев С. В. Классификация угроз информационной безопасности [Электронный ресурс] / С. В. Вихорев // Элвис-Плюс. – Режим доступа: http://elvis.ru/ upload/ iblock/f60/f602ee2337fcc7250c71c2a138fe9ecc.pdf. **5.** Галатенко В.А. Основы информационной безопасности: курс лекций: учебное пособие. – Под ред. акад. РАН В.Б. Бетелина. М.: ИНТУИТ. РУ "Интернет-университет Информационных Технологий", 2006. 208 с. **6.** Соколов А. В. Как оценить угрозы безопасности информации? / А. В. Соколов, С. В. Вихорев // Технологии и средства связи. 2000. – № 5 – С. 92–94. **7.** Родичев Ю.А. Информационная безопасность: нормативно-правовые аспекты: учебное пособие. – СПб.: Питер, 2008. – С. 86–87.

ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ УПРОЧНЯЮЩИХ ПОКРЫТИЙ ПРИ ПЛАЗМЕННОЙ ПОРОШКОВОЙ НАПЛАВКЕ

Романчук И.А., Голубев В.С., Вегера И.И.
(Физико-технический институт НАН Беларуси, г. Минск, Беларусь)
E-mail: *gvs_fti@mail.ru*

Abstract: *The micro- and macrostructure, physicomechanical characteristics, dimensions and topology of the surface of the deposited layers are studied with a change in a number of technological characteristics: speed, oscillation amplitude of the shuttle-type plasma heating source, etc.*

Key words: *plasma surfacing, surface layer, microstructure, microhardness*

Введение. Наплавка является достаточно эффективным методом упрочнения новых и восстановления быстроизнашивающихся деталей различного функционального назначения, которая позволяет сформировать на рабочих поверхностях относительно толстые покрытия (10 мм) с высокими прочностью соединения к основе (металлургическая связь) и производительностью обработки - десятки килограммов присадочного материала в час. В качестве присадки, в зависимости от применяемого способа наплавки, применяются компактные (литые) или порошковые прутки (электроды) с покрытиями, проволоки, ленты и порошковые материалы [1-3].

Номенклатура порошковых материалов включает металлические и композиционные порошки, порошковые смеси, тугоплавкие соединения, что позволяет на их основе получать высококачественные покрытия с необходимыми характеристиками при эксплуатации обработанных деталей в условиях различного рода износа, коррозии, эрозии и т. п. Использование в качестве источников нагрева энергии плазмы и/или лазера с высокой плотностью потока мощности (до 10^6 Вт/см2) приводит к формированию наплавленных слоёв с малым коэффициентом перемешивания материала покрытия с металлом основы, незначительными остаточными деформациями [4].

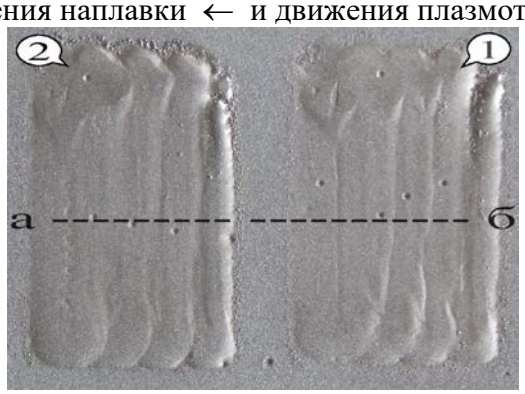
Методика эксперимента. Целью данной работы являлось исследование особенностей плазменной наплавки высокопрочных самофлюсующихся порошковых материалов на стальные, в том числе тонкостенные изделия. Работа плазмотрона велась в режимах, позволяющих уменьшить опасность проплавления наплавляемой тонкостенной поверхности, уменьшить термические поводки, повысить качество наплавленного слоя. Для выполнения поставленной задачи была доработана конструкция плазмотрона повышенной надежности с катодом из вольфрама, легированного лантаном, диаметром 4 мм. Используемый в процессах плазменной наплавки сварочный плазмотрон PLP 200 Aut изначально оборудован специальным соплом для подачи газопорошковой смеси с необходимым расходом транспортирующего газа и порошка, соответственно, 2-4 л/мин и 4-35 г/мин с максимальной фракцией до 0,25мм. Для обеспечения подачи в зону плазменной струи упрочняющего порошка разработана и изготовлена специальная конструкция порошкового питателя. Автоматизированный портал с числовым программным устройством позволял осуществлять передвижение плазмотрона по заданным траекториям обработки. Скорость перемещения плазмотрона при постоянном токе основной дуги практически полностью определяет одну из важнейших характеристик процесса плазменной порошковой наплавки – погонную энергию. В конечном итоге величина погонной энергии оказывает решающее влияние на геометрические размеры и физико-механические характеристики наплавленного слоя. Проведены исследования

микроструктуры, физико-механических характеристик (микротвёрдость, твёрдость, геометрические размеры и дефекты слоёв и т. д.) композиции износостойкое покрытие – переходной слой – основной металл, сформированной на рабочей поверхности образцов из конструкционных сталей типа 65Г и 60ПП плазменно-порошковым методам. Для плазменной наплавки использовались самофлюсующиеся порошки типа ПГ-12Н-01 и ПГ-10Н-01. Микроструктурный анализ проводили на оптическом микроскопе Neophot-2, элементный анализ на электронном микроскопе SEM 515 с приставкой EDAX, дюрометрический – на микротвердомере ПМТ-3.

Результаты исследований и обсуждение. В практике аргоно-дуговой или плазменно-порошковой наплавки зачастую используют метод обработки с колебаниями соответственно электрода/плазмотрона, что приводит к более равномерному распределению температуры по всей ширине наплавки. Поэтому наплавляемый валик имеет плавный переход от металла наплавки к основному металлу, что позволяет успешно сплавлять валики между собой и с основным металлом при необходимости получения широкого слоя наплавки.

В этой связи в первой части экспериментов при наплавке так называемого «челночного» типа на стальные пластины плазмотроном, совершающим возвратно-поступательные перемещения с определённым шагом в направлении, перпендикулярном направлению наплавки, задавались амплитуда колебаний плазменной головки (12 мм), расстояние от сопла плазмотрона до поверхности обработки (9-10 мм), напряжение (30 В) и ток наплавки (60 А). При этом изменялись скорость перемещения плазмотрона, расходы технологических газов и присадочного порошка. Из внешнего вида поверхности наплавленных покрытий из восьми дорожек на «холодную» подложку при скоростях перемещения плазмотрона v_1 = 300 мм/мин (рисунок 1, 1) и v_2 = 600 мм/мин (рисунок 1, 2) можно сделать несколько заключений

Направления наплавки ← и движения плазмотрона ↑↓



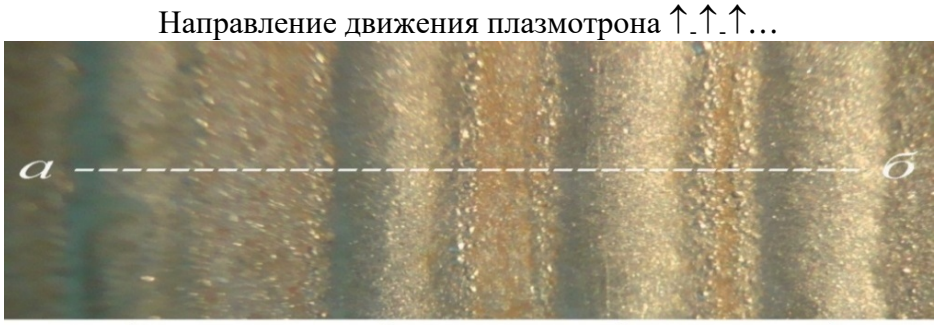
1 – v_1 = 300 мм/мин, 2 – v_2 = 600 мм/мин

Рис. 1. Внешний вид поверхности наплавленных слоёв

качественного характера. Поверхность наплавки достаточно однородная. В начале наплавки для обеих скоростей не наблюдается растекания (смачивания) расплавленного присадочного порошка по поверхности основного металла, что объясняется, по-видимому, недостаточной температурой подложки. На первых дорожках и в областях поворота плазмотрона наплавленный слой немного выступает над поверхностью подложки. В конце наплавки поверхности покрытия и подложки практически совпадают (рисунок 1, 1). Более наглядно это можно увидеть на поперечных шлифах. Образцы для изготовления шлифов вырезались (рисунок 1) по линии а – б перпендикулярно его поверхности. Микрошлифы наплавленных слоёв

изучались при скоростях перемещения плазменной головки 300 – 1200 мм/мин. При большей скорости перемещения плазмотрона сплошность покрытия регистрировалась на последних четырёх дорожках, при этом глубина проплавления основного металла составляла примерно треть от толщины наплавленного слоя (160 мкм). С уменьшением скорости перемещения плазмотрона до 600 мм/мин на начальной стадии наплавки формировался тонкий слой и далее шесть перекрывающиеся дорожек с приблизительно одинаковой глубиной проплавления основного металла. По-видимому, это свидетельствует об установлении в данных условиях стационарного, или достаточно близкого к нему температурного режима обрабатываемой подложки. В конце наплавки поверхности наплавленного слоя и подложки практически совпадают. Подобный вид имеет наплавленный слой и при скорости перемещения плазмотрона 300 мм/мин – глубина проплавления $h_{пр}$ значительно больше высоты покрытия $h_{п}$. Трудности в измерении этих величин связаны с: достаточно протяжённым наплавленным слоем (14-16 мм), неровностью исходной поверхности подложки и/или её деформацией в процессе наплавки. Поэтому, говоря о толщине наплавленного слоя следует иметь в виду величину, равную $h_{пр} + h_{п}$. При увеличении длины наплавки толщина слоя немонотонно увеличивается, в основном, за счёт увеличения глубины проплавления основного металла, что свидетельствует о неустановившемся тепловом режиме подложки. Наблюдаемые неоднородности (неровности) границы сплавления связаны не только с относительно малым шагом наплавки (2 мм), но и с изменением направления движения плазмотрона. Максимальная толщина наплавленного слоя составляет 1,5-1,7 мм.

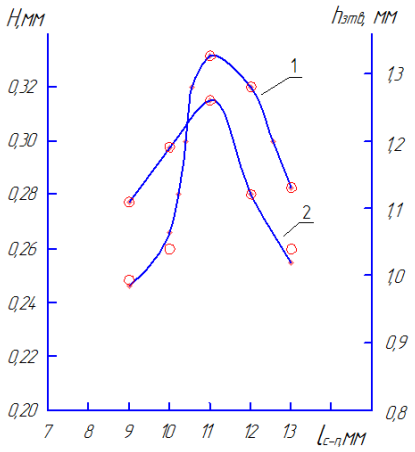
Было проведено также исследование структуры и качества плазменно-порошковых покрытий в зависимости от скорости обработки и расстояния сопло плазмотрона - поверхность подложки. Так при скорости перемещения плазмотрона v = 1200 мм/мин и расстояниях между соплом плазмотрона и подложкой $l_{с-п}$ = 8-13 мм формировались отдельные дорожки шириной 2,5 - 3,0 мм и длиной 50 мм (рисунок 2).



1 - $l_{с-п}$ = 9 мм, 2 - 10 мм, 3 - 11 мм, 4 - 12 мм

Рис. 2. Вид наплавленной поверхности для различных расстояний между соплом плазмотрона и подложкой ($l_{с-п}$) , а-б – линия разреза

Наличие на периферии наплавленных валиков отдельных частиц нерасплавленного порошка (рисунок 2) свидетельствует о том, что размеры зоны ввода присадочного порошкового материала больше размеров сварочной ванны (ванны расплавленного металла). Максимальная толщина сформированных слоёв $H = h_{пр} + h_{п}$ и максимальная глубина зоны термического влияния $h_{зтв}$ достигали максимальных значений при расстоянии сопло плазмотрона–поверхность подложки примерно 11 мм (рисунок 3).



1 – H, 2 - hзтв

Рис. 3. Зависимость максимальной толщины наплавленного слоя (H = hпр + hп) и глубины зоны термического влияния от расстояния сопло плазмотрона-поверхность подложки

Распределение микротвердости при увеличении расстояния от поверхности наплавленного покрытия имело немонотонный характер. Причем, максимальная микротвердость наплавленного порошкового сплава ПГ-10Н-01 превышало 725 $HV_{0,1}$. Уменьшение микротвердости составляет для сталей 65Г и 60ПП, соответственно, до величин 260 $HV_{0,1}$ и 410 $HV_{0,1}$ в переходном слое между покрытием и основным металлом связано, по-видимому, с двумя причинами:1) наличием в этой области обезуглероженного слоя, не полностью удалённого в процессе предшествующей обработки;2) диффузией углерода подслоя в наплавленный слой вследствие большой разности по содержанию его между основным и наплавленным металлами, а также разностью по содержанию в них карбидообразующих элементов (например, хрома и др.).

Выводы: Выполненные эксперименты подтвердили правильность выбранных конструкторских и технических решений и подходов при создании наплавочного плазмотрона и подготовки комплекса оборудования для плазменно-порошковой наплавки с целью упрочнения и восстановления быстроизнашивающихся деталей различного функционального назначения из конструкционных материалов. Разработанный комплект оборудования для плазменной наплавки открывает возможность осуществлять наплавку износостойкого порошкового материала, например, на тонкостенные и клиновидные детали типа ножей кормоуборочного комбайна.

Список литературы: 1. Хасуи А., Моригаки О. Наплавка и напыление/ Под ред. В.С. Степанина, Н.Г. Шестеркина. – М.: Машиностроение, 1985. – 240с**. 2.** Вайнерман А.Е., Шоршоров М.Х., Веселков В.Д., Новосадов В.С. Плазменная наплавка металлов. – Ленинград, Машиностроение, 1969. – 190 с. **3.** Сидоров А.И. Восстановление деталей машин напылением и наплавкой. – М.: Машиностроение, 1988. – 188 с. **4.** Астапчик С.А., Голубев В.С., Маклаков А.Г. Лазерные технологии в машиностроении и металлообработке. – Минск. Белорусская наука, 2008. – 252 с.

ОСНОВНЫЕ НАУЧНЫЕ РАЗРАБОТКИ УЧЕНЫХ ЛУГАНСКОГО НАЦИОНАЛЬНОГО УНИВЕРСИТЕТА ИМЕНИ ВЛАДИМИРА ДАЛЯ

Рябичев В.Д., Витренко В.А. *(ЛНУ им. В. Даля, г. Луганск, ЛНР)*
Тел./Факс: + 38 (0642) 341826; *E-mail:vitrenko.vl@gmail.com*

Abstract: *The article presents major scientific developments of Lugansk V.Dahl National University. New modern technologies in the sphere of mechanical treatment, metallurgy, nano-technologies, science of materials, powder metallurgy have been presented. The role of science in economic development of the region has been stressed.*
Key words: *tools, foundry, nano-technology, crystals, powder materials, welding.*

ГОУ ВПО «Луганский Национальный университет имени Владимира Даля» – является ведущим учебным заведением Луганщины и имеет в своем составе уникальные научные центры республиканского и межгосударственного значения.

Рис. 1. ГОУ ВПО «Луганский Национальный университет имени Владимира Даля»

Научные интересы охватывают многие отрасли науки и техники: от медицины до современного материаловедения, от металлургии и тяжелого машиностроения до микроэлектроники и являются источником накопления знаний, получаемых студентами в университете.

В университете накоплен уникальный теоретический и практический опыт подготовки современного инженера. Основным императивом практической деятельности университета является создание условий для формирования свободного, творческого человека, ощущающего себя неотъемлемой частью целого Мира, человека фундаментально подготовленного, обладающего практическими навыками, стремящегося к их совершенствованию.

Новые материалы и технологии их получения определяют не только уровень развития общества, но, что главнее, уровень жизни человека. Получение новых свойств уже известных материалов, безотходность их производства при минимуме трудоемкости и энергозатратах создают принципиально новый подход к организации производства. При этом минимизируются финансовые затраты, что дает развитие малым и средним предприятиям в области высоких технологий.

Технология получения порошка меди из отходов электропроводов методами порошковой металлургии. В процессе переработки исходный материал проходит такие стадии: наводораживающий отжиг, аэросепарацию, размол, восстановительный отжиг порошка в защитной среде, размол на заданные фракции.

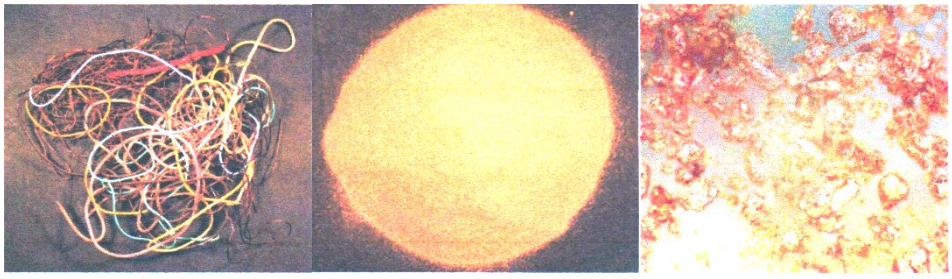


Рис. 2. Технология получения порошка меди из отходов электропроводов

Разработанная технология позволяет сразу из отходов электропроводов получать медные волокна, которые в дальнейшем используются для изготовления прутков и трубок, из которых изготавливаются наконечники сварочных автоматов и ряд других деталей для бытового и промышленного использования.

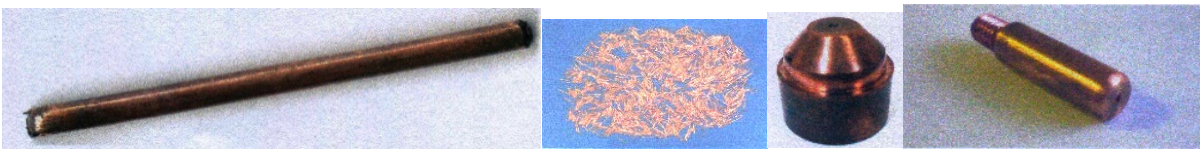


Рис. 3. Изделия из из отходов электропроводов

Безотходная экологически чистая технология получения порошка марки П80Х9С2М из шламов жаропрочных сталей В настоящее время шламы, образующиеся при шлифовании деталей (например, автомобильных клапанов) из жаропрочных сталей, практически не перерабатываются, находятся в отвалах и загрязняют окружающую среду. Разработанная технология получения порошка марки П80Х9С2М из шлифовальных шламов дорогостоящих высоколегированных жаропрочных сталей, содержащих хром, молибден и др., включает операции размола с промывкой, сепарацию, восстановление.

Полученный порошок использован для формирования износостойкого слоя на деталях автомобильной промышленности.

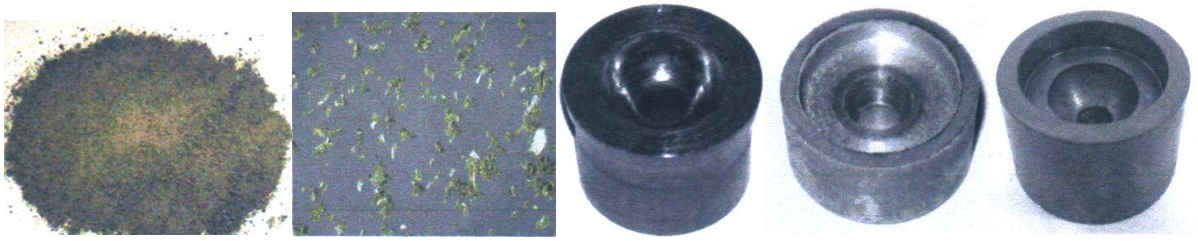


Рис. 4. Использование порошка марки П80Х9С2М для формирования износостойкого слоя на деталях автомобильной промышленности

Нанотехнологии и микросистемная техника. Разработана технология получения заготовок порошковых наноструктурированных материалов равноканальным угловым выдавливанием.

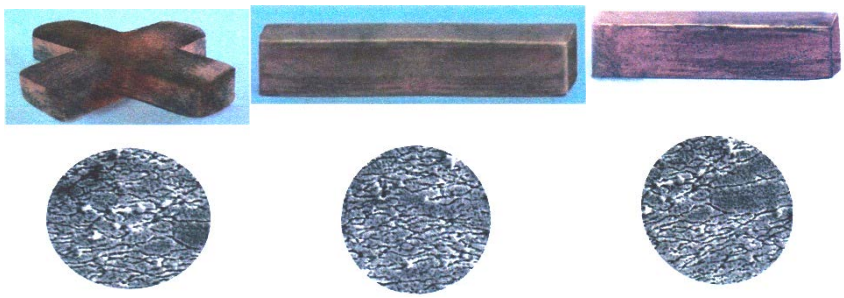


Рис. 5. Технология получения заготовок порошковых наноструктурированных материалов равноканальным угловым выдавливанием.

Выращивание нанокристаллов в аморфных сплавах на основе никеля. Разработана методика выращивания нанокристаллов в аморфных сплавах**.** Образцы аморфного сплава размером 15х25х0,06 мм нагревали до температуры 200-400°С и выдерживали в атмосфере аргона с однородным распределением температуры. При температуре 200°С начина-

ется релаксация аморфного сплава в поверхностном слое сплава, что в дальнейшем приводит к образованию нанокристаллов размером от 5 до 10 нм.

Выращивание монокристаллов. Разработка новых методов обеспечивает не только развитие технологии получения полупроводниковых кристаллов, а также позволяет вырастить монокристаллы с заданными свойствами. Так введение ультразвука в процессе роста позволяет получить монокристаллы с высокой однородностью. Кристаллы имеют широкое практическое применение, прежде всего, в электронной промышленности, а также используются как материал для производства фотодетекторов, лазеров и фотодиодов современной оптоэлектроники.

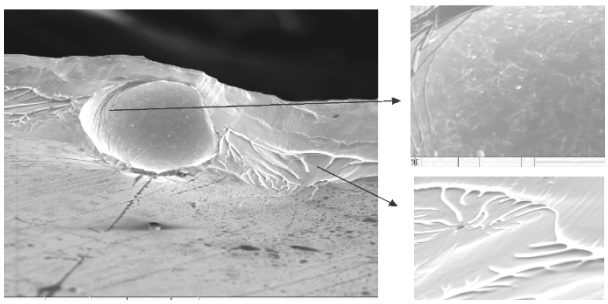


Рис. 5. Выращивание нанокристаллов в аморфных сплавах на основе никеля

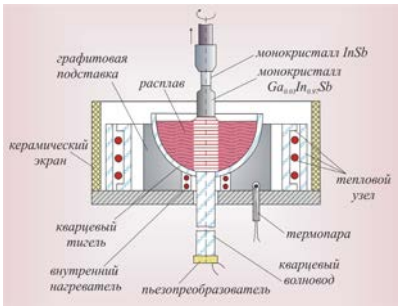


Рис. 6. Выращивание монокристаллов

Установка для резки монокристаллов кремния на пластины.

Рис. 7. Алмазный отрезной круг

Особенностью установки является то, что алмазный отрезной круг режет монокристалл внутренней кромкой. Диаметр алмазного круга теперь не зависит от диаметра монокристалла, а определяется только исходя из необходимой жесткости инструмента. Таким образом, инструмент способен разрезать кристаллы неограниченного диаметра при относительно малых размерах отрезаемого круга.

Производство художественных отливок Уровень развития литейного производства можно определить по качеству получаемых изделий, что особенно заметно при изготовлении художественных отливок произведений искусства. Достижение высокого качества отливки гарантируется разработкой новых связующих материалов в формовочных смесях, которые в 7-10 раз повышают ее вяжущие свойства.

Рис. 8. Производство художественных отливок

Учитывая, что процесс производства отливок достаточно дорогой, для уменьшения себестоимости выпускаемых изделий при отработке технологии и формы отливок широко используется 3D-моделирование. Таким обра-

зом, удалось существенно снизить себестоимость выпускаемой продукции и уменьшить до 60% вредные выбросы и отходы производства.

Многозаходный гиперболоидный зубообрабатывающий инструмент. Режущий инструмент является важнейшим элементом техники различных областей машиностроительной промышленности. На протяжении всей истории техники усовершенствование режущего элемента оказывали большое влияние на конструкцию машиностроения.

Основной задачей инструментального производства предприятия является не столько собственное развитие и результативное функционирование, сколько поддержание и повышение условий эффективной жизнедеятельности основного предприятия, наиболее сложным и существенным является процесс приспосабливания к условиям самого предприятия. Одно из важнейших направлений регулирования деятельности подразделений инструментального производства машиностроительного предприятия связано с повышением эффективности его функционирования.

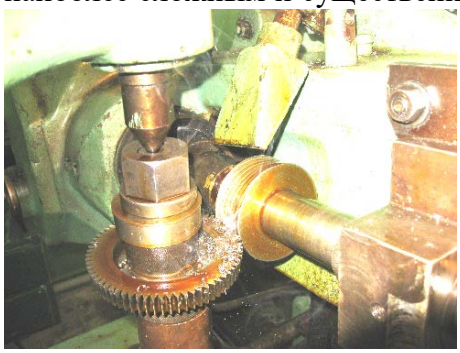


Рис. 9. Многозаходный гиперболоидный зубообрабатывающий инструмент

Инструмент с числом заходов зубьев от 2 х до 15 предназначен для нарезания зубьев цилиндрических прямозубых и косозубых колес. Производительность нарезания зубьев в 15 раз выше производительности нарезания зубьев при помощи червячных фрез. Основная инструментальная поверхность инструмента совпадает с его производящей поверхностью, что позволяет получить геометрические и кинематические заданные углы в процессе его производства. Передний угол у предлагаемого инструмента может быть от 0° до 35° в зависимости от материала обрабатываемого зубчатого колеса. Степень точности нарезаемых колес 5…7. Стойкость многозаходной фрезы в 10 раз выше стойкости стандартной червячной фрезы.

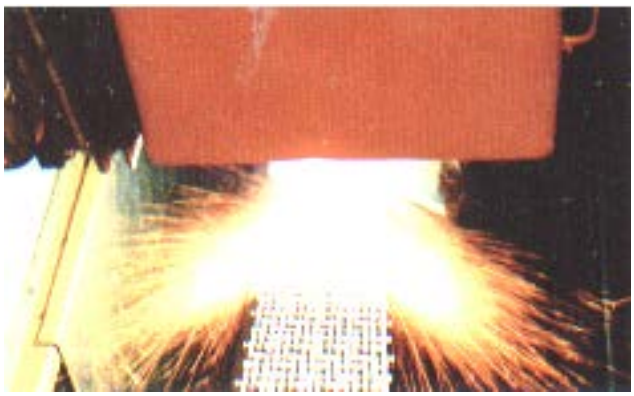


Рис. 10. Сверхзвуковая электродуговая металлизация

Сверхзвуковая электродуговая металлизация. Технология и оборудование основаны на использовании: сверхзвукового потока горячих продуктов сгорания метана с воздухом, электрической дуги, которая продольно обдувается, и специальной порошковой проволоки.

Напыленное покрытие укрепляет и обеспечивает: повышенную износостойкость и повышенную устойчивость против задира при перегрузке, металлическом контакте, отсутствии масла, значительную экономию из-за увеличения межремонтного периода изделия.

Список литературы: 1. Путь длиною в век Луганский Национальный Университет имени Владимира Даля. ГОУ ВПО ЛНР «ЛНУ им. В. Даля». 2020г., 476с.

МЕХАТРОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ПОДШИПНИКОВЫХ УЗЛАХ НАСОСНЫХ АГРЕГАТОВ

Савин Л.А., Корнаев А.В., Корнаев Н.В., Фетисов А.С.
(Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева, г. Орел, Россия)
E-mail: savin@ostu.ru

Abstract: *The principles of functioning, classification and improvement trends of mechatronic bearings of rotors that implement the functions of automated diagnostics and active control of operating modes are considered. Structural and functional schemes of mechatronic bearings of rotors based on rolling and sliding bearings are presented. Physical phenomena and main factors influencing dynamic characteristics of rotors are considered.*

Мехатронные и интеллектуальные технологии являются одним из перспективных направлений развития различных областей науки и техники. В определенной мере это касается нефтяного, химического и газового оборудования. В магистральных газопроводах используют компрессорные агрегаты с магнитным подвесом роторов. Для повышения энергетической эффективности насосов и компрессоров начинают внедрятся системы с активным управлением потоками рабочих сред в гидравлических и газовых каналах. Интегрирование механических, пневмогидравлических, электрических, электромагнитных и компьютерных систем обеспечивает синергетический эффект в повышении технико-экономических характеристик, надежности и конкурентоспособности изделий. Умные машинные технологии качественно повышают спектр возможностей машин на основании объединения функций автоматического контроля и диагностики параметров, активного управления движением элементов, возможности адаптации к изменению условий работы.

Роторно-опорные узлы агрегатов во многом определяют наработку на отказ и основные параметры работоспособности данных устройств. В свою очередь, обеспечение удовлетворительной работы ротора – стабильность вращения, приемлемый уровень вибраций, передача внешней нагрузки на корпус – обеспечивается подшипниками. Неправильный выбор подшипника качения или ошибочное проектирование подшипника скольжения может приводить к поломке всего роторного агрегата и выходу из строя всей машины. Существующие на сегодняшний день виды подвеса роторов имеют по сравнению друг с другом определенные достоинства и недостатки: для подшипников качения характерны малые пусковые моменты трения, меньший расход цветных металлов, высокий уровень технологичности, но они имеют ограничение по быстроходности и меньшее демпфирование по сравнению с подшипниками скольжения; для подшипников скольжения нет ограничений по быстроходности, имеют возможность быть выполнены разъемными, но требуют дополнительную систему подачи смазочного материала, обладают на некоторых режимах неустойчивостью; магнитные подшипники лишены этих недостатков, но требуют сложной и дорогостоящей системы управления. Активный магнитный подшипник является классическим мехатронным объектом, в котором управление движением ротора происходит за счет изменения напряженности электромагнитного поля в зависимости от сигнала с датчиков перемещений[1,2]. Такая система управления позволяет получить синергетический эффект повышения надежность работы опорного узла за счет повышения его рабочих характеристик.

Подобно схеме АМП можно реализовать управление движением ротора в традиционных подшипниках качения и скольжения за счет управления давлением подачи смачного материала, жесткостыми и демпфирующими характеристиками для обеспечения необходимых показателей грузоподъемности и вибрационной надежно-

сти. Создание роторных машин новых поколений формирует новые требования к подшипниковым узлам, в числе которых можно назвать: выполнение новых функциональных задач контроля и диагностики параметров, управление параметрами движения с использованием сенсорных элементов, микропроцессоров и специальных устройств коррекции параметров; обеспечение сверхвысоких скоростей вращения ротора с минимальными энергозатратами, максимальными показателями устойчивости, надежности и экологической чистоты, что обеспечивает достижения высокого уровня конкурентоспособности; возможность получения прецизионных движений ротора с целью реализации новых перспективных микро- и нанотехнологий; реализация интеллектуального поведения роторной системы в условиях неопределенности внешней среды, в частности, при возникновении автоколебательных режимов, параметрических и хаотических колебаний; обеспечение вращательных и поступательных движений элементов роторной системы по сложным траекториям и законам изменения параметров; реализация сложных кинематических структур роторно-опорных узлов машин новых поколений, обеспечивающих качественно более высокие показатели.

В настоящее время находят применение мехатронные подшипниковые узлы (рисунок 1) Active Sensor Bearing (ASB), Sensor Line Encoder компании SNR Group, содержащие интегрированные блоки с датчиками контроля угловых положений, температуры, вибраций, скорости и направления вращения[3,4].

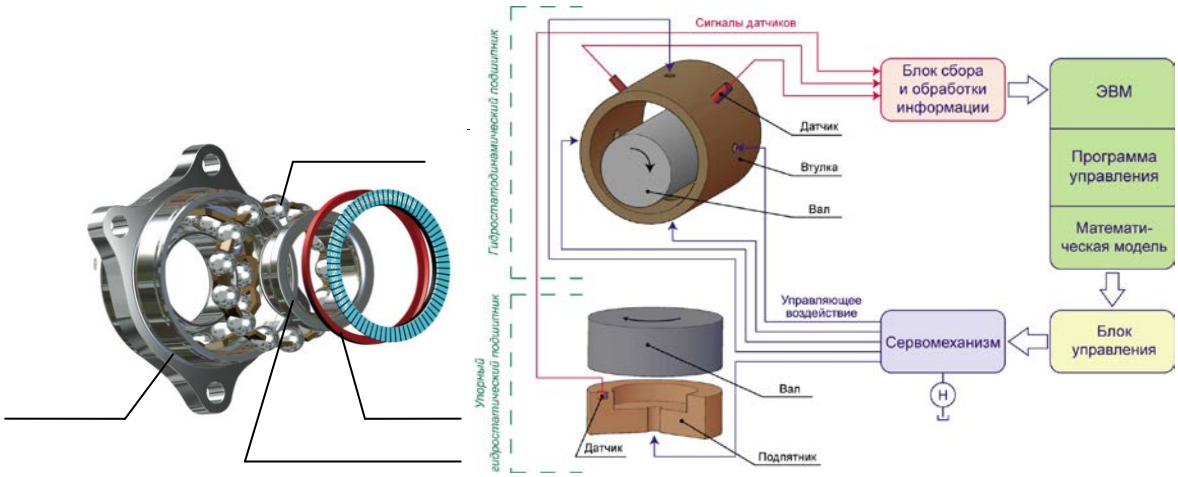


Рис. 1. Мехатронные подшипники качения и жидкостного трения

Потенциально перспективным вариантом опор высокоскоростных и тяжелых роторов являются гидростатодинамические подшипники (ГСДП) с активным управлением динамическими и энергетическими характеристиками. Учитывая, что несущая способность гибридных опор формируется за счет совместного действия давления подачи смазочного материала в питающие камеры и формирования гидродинамического клина при вращения ротора, изменение эксплуатационных показателей, в частности, траекторий движения роторов, амплитудно-частотных характеристик и потерь мощности, может обеспечиваться управлением величиной и направлением гидродинамической реакцией смазочного слоя с помощью сервоклапанов, пьезоактуаторов, соленоидов и других видов исполнительных механизмов в составе единой мехатронной системы. Параметры подшипника отслеживаются сенсорами, преобразованная информация с которых передается в компьютерную систему управления, осуществляющую анализ состояния, прогноз рационального поведения ротора и получение необходимой реакции опоры для предотвращения нежелательных эффек-

тов. Полученные расчетные данные позволяют системе управления сформировать управляющие сигналы, с помощью которых блок коррекции изменяет требуемым образом силы воздействия опоры на ротор подшипника. Развитие микропроцессорной техники позволяет объединить в один комплекс измерительные приборы, контроль технологических параметров, управление физической и аппаратной частями. В подшипнике жидкостного трения изменение выходного сигнала зависит от величины зазора между втулкой подшипника и шейкой ротора. Для контроля положения вала используются два датчика, расположенные в подшипнике перпендикулярно друг другу. Блок сопряжения с исполнительными устройствами предназначен для преобразования цифровых кодов управления, поступающих от микроконтроллера системы в управляющие сигналы исполнительных устройств, в частности, сервомеханизмов, регулирующих давление в питающих камерах ГСДП. Блок управления и сопряжения выполняется на базе микроконтроллера. Это позволяет задействовать для управления исполнительными устройствами различные программные алгоритмы прогнозирования отклонения ротора в подшипнике.

В настоящее время в развитых странах мира активно проводятся поисковые и прикладные исследования в области создания роторных машин с интеллектуальными мехатронными опорами. Прежде всего, это касается высокоскоростных электро- и турбоагрегатов транспортных и технологических машин. Если АМП уже находят широкое применение в различных видах роторных машин, то интеллектуальные опоры на базе подшипников скольжения находятся на начальной стадии исследования. Причем это касается всех направлений, включая сенсорные устройства, механизмы корректировки параметров, математические модели и методы управления движением роторов в условиях ужения, возникновения нерасчетных режимов работы машины, в том числе параметрических, хаотических и самовозбуждающихся колебаний. Исследования и создание опор жидкостного трения с активным управлением движением роторов осуществляется на кафедре мехатроники, механики и робототехники ОГУ им. И. С. Тургенева в рамках формирования нового направления науки и техники – трибомехатроники, представляющей собой синергетическое объединение узлов точной механики, силовой электроники и информационных технологий.

Материалы доклада подготовлены в рамках выполнения проекта РНФ №16-19-00186.

Список литературы: 1. Савин Л.А. Соломин О.В. Дорофеев Л. В. Активные магнитные подшипники: принципы функционирования и моделирования. «Механизация, автоматизация, управление» №2, 2009. – С. 33-37. **2.** Kytka, Peter. Application of Feedforward-Disturbance-Compensation and Input-Shaping to a Machine-z-Axis in Active Hydrostatic Bearings // The 9th International Conference on Motion and Vibration Control. **3.** Карпов Д.А., Громаков Е.И., Ильченко А.А. Мехатронные решения в подшипниковых узлах // NTN-SNR. http://www.snr.com.ru/e/mechatron.htm

ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОЧЕГО ПРОЦЕССА ГИДРАВЛИЧЕСКОГО УСТРОЙСТВА УДАРНОГО ДЕЙСТВИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЕГО РАЦИОНАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ

Селивра С.А., Ягупов О.В.
(ГОУ ВПО «Донецкий национальный технический университет», г. Донецк)

Abstract: *A study is made of a hydraulic percussion device, which can have a wide range of power, from sufficiently powerful, suitable for use as working bodies of roadheaders, to compact hand-held percussion devices. A feature of these designs is the lack of high requirements for the working fluid, both water-oil emulsion and industrial water can be used as an energy carrier. The operability of the above schemes was checked using simulation on a computer and confirmed by experimental data on field samples.*

Key words: *Key words: hydraulic shock device, shock power, working fluid, structural diagram, circuit diagram, comparative analysis, operating parameters, differential pressure.*

Постановка проблемы

В настоящее время одним из наиболее перспективных направлений технического прогресса является широкое применение устройств, создающих импульсную нагрузку на инструменте, который в свою очередь контактируя с массивом горных пород, осуществляет его разрушение. Устройства ударного действия широко используются в горнодобывающей промышленности, строительстве, металлургии и машиностроении в целях механизации многих основных и вспомогательных процессов производства: отбойки углей, бурения шпуров, рубки металла, штамповки, чеканки, дробления бетонов и других материалов.Наиболее широкое распространение получили пневматические и электрические ударные устройства.В то же время данные устройства характеризуются высоким уровнем шума, низким К.П.Д., в пневматических ударниках присутствует выхлоп сжатого воздуха с высоким содержанием аэрозоля масел, а ударники, имеющие электрический привод, не обладают широким диапазономэнергии удара, а также ввиду искрообразования двигателя, не могут использоваться во взрывоопасной среде. Также известно, что применение устройств с пневмоприводом приводит к высоким капитальным и эксплуатационным затратам по сравнению с электрическими и гидравлическими аналогами, поэтому незначительное снижение потребления сжатого воздуха в отдельных случаях ведет к значительной экономии денежных средств. Среди главных потребителей пневматической энергии можно выделить отбойные и бурильные машины. В Донецком бассейне они потребляют около 29% всей пневматической энергии, от вырабатываемой. Следует также отметить, что на шахтах, где нет стационарных компрессорных станций и подземной пневмосети, применяются передвижные компрессоры, но место для их установки регламентируется правилами безопасности. В связи с этим есть целый ряд ограничений, где не могут быть использованы пневматические устройства ударного действия. Гидравлические ударные устройства, работающие от автономной насосной станции на негорючих рабочих жидкостях, могут быть применены в любых выработках угольной шахты. Таким образом, задача выбора рациональных параметров гидроударника и его распределительной системы имеет особую актуальность в условиях современного развития добывающей промышленности.

Анализ последних исследований и публикаций

Выполненные исследования показывают, что в мировой практике предпочтение отдается гидравлическим ударным устройствам: в Финляндии и Голландии созданы мощные устройства для разрушения негабаритов (бутобои), в Англии – устройства для эффективного бурения скважин на горных предприятиях. На Украине и в странах СНГ ведутся работы как по созданию машин, оснащенных ударными механизмами большой

массы и, соответственно, обладающих высокой энергией удара, так и переносных и ручных машин: перфораторов и гидравлических отбойных молотков.

Цель (задачи) исследования

Основной задачей является исследование параметров гидравлического ударного механизма при помощи математического моделирования с целью определения их оптимальных конструктивных значений.

Основной материал исследования

В ДонНТУ разработаны промышленные образцы гидравлических ударных устройств, работающих на технической воде, (эмульсии) и предназначенных

- для исполнительных органов проходческих комбайнов;
- для исполнительных органов буровых машин;
- для гидравлических отбойных молотков.

Гидравлическое ударное устройство может быть разработано на основе одной из трех структурных схем: схема с управляемой камерой прямого хода, схема с управляемой камерой обратного хода, схема с двумя управляемыми камерами. Предварительный анализ приведенных структурных схем позволил установить, что оптимальной является схема с управляемой камерой прямого хода.Это объясняется тем, что разгон бойка осуществляется потоком жидкости, давление которой в камере прямого хода поддерживается как за счет подачи рабочей жидкости от насоса, так и за счет разрядки гидропневмоаккумулятора, что обеспечивает увеличение ускорение во время прямого хода бойка, повышение предударной скорости и энергии удара.

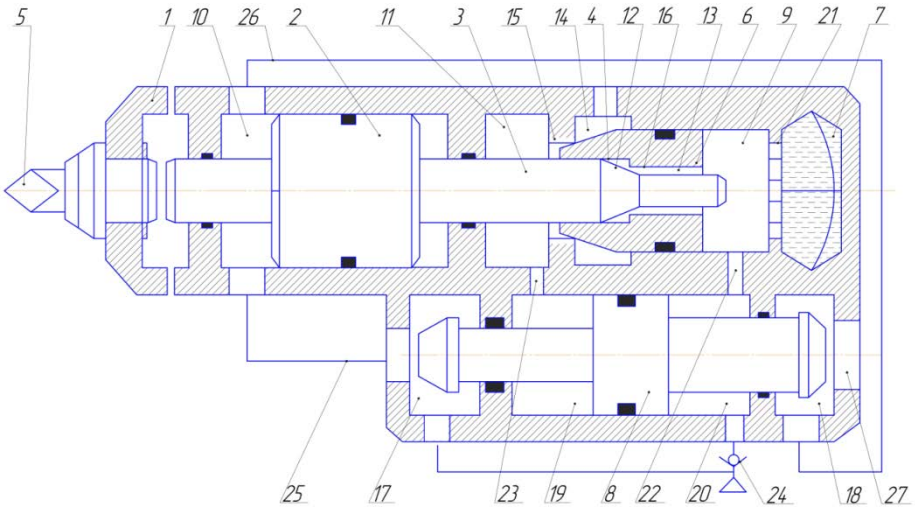


Рис. 1. Принципиальная схема гидравлического ударного устройства с управляемой камерой прямого хода

Представленное гидравлическое ударное устройство с управляемой камерой прямого хода работает следующим образом. Через обратный клапан 24 жидкость поступает в надпоршневую камеру 20 и через канал 22 – в камеру прямого хода 9, далее через канал 21 – в гидравлическую полость гидропневмоаккумулятора 7. В момент соударения с инструментом 5 поршень-боек 2 останавливается. В надпоршневой 20 и в подпоршневой 19 камерах устанавливается одинаковое давление, так как эти камеры соединены между собой каналом 22, камерой прямого хода 9, дросселем 13 (кольцевая щель), приемной камерой 12, следящей камерой 11 и каналом 23. из-за разности поршневых площадей клапана 8 распределителя возникает сила, перебрасывающая этот клапан в крайнее верхнее положение и рабочая жидкость из магистрали через напорную

камеру 17, канал 25 поступает в камеру обратного хода 10. Поршень-боек 2 начинает совершать обратный ход, в течение которого хвостовик поршня-бойка 2 вытесняет жидкость из следящей камеры 11 через дроссель 13 в камеру прямого хода 9. При этом давление в следящей 11 и в приемной 12 камерах выше, чем давление в камере прямого хода 9 на величину потерь давления в дросселе 13. соответственно, давление в подпоршневой камере 19 выше давления в надпоршневой камере 20, что надежно удерживает клапан 8 распределителя в верхнем положении. Поршень-клапан 6 в этот период находится в крайнем нижнем положении и прижат к седлу 15, так как его поршневая площадь со стороны камеры прямого хода 9 больше, чем со стороны следящей камеры 11. В конце обратного хода цилиндрическая поверхность 3 хвостовика поршня-бойка 2 входит в приемную камеру 12. При дальнейшем перемещении поршня-бойка 2 коническая поверхность 4 его хвостовика контактирует с торцевой фаской (седлом) цилиндрической поверхностью 16 поршня-клапана 6, перекрывая дроссельное отверстие 13. Поршневая площадь поршня-бойка 2 со стороны камеры обратного хода 10 больше, чем сумма поршневых площадей хвостовика поршня-бойка 2 и поршня-клапана 6 со стороны камеры прямого хода 9, и поршень-боек 2 начинает перемещать вверх поршень-клапан 6. В результате этого открывается доступ жидкости из следящей камеры 11 в сбросную камеру 14 и далее в атмосферу. Так как дроссельное отверстие 13 надежно закрыто клапаном, образованным конической поверхностью 4 хвостовика поршня-бойка 2 и поршнем-клапаном 6, то в следящей камере 11 и подпоршневой камере 19 резко снижается давление до атмосферного. Клапан 8 под действием давления жидкости со стороны надпоршневой камеры 20 перебрасывается в нижнее положение, перекрывая доступ рабочей жидкости в камеру обратного хода 10 и открывая сброс из этой камеры в атмосферу через канал 26, сливную камеру 18 и отверстие 27 в седле клапана 8. Под действием давления жидкости со стороны камеры прямого хода 9 поршень-клапан 6 и поршень-боек 2 останавливаются и начинают перемещаться вниз (начало прямого хода). Их совместное движение продолжается до тех пор, пока поршень-клапан 6 не войдет в контакт с седлом 15 корпуса 1. При этом сброс жидкости из следящей камеры 11 в атмосферу прекращается. Под действием давления жидкости со стороны камеры прямого хода 9 поршень-боек 2 продолжает движение самостоятельно. Поршень-боек 2 совершает прямой ход под действием давления жидкости со стороны гидропневмоаккумулятора 7 до тех пор, пока не нанесет удар по инструменту 5. После нанесения удара поршень-боек 2 останавливается. Так как расход жидкости через дроссель 13 исчезает, то давление в следящей камере 11 становится равным давлению в камере прямого хода 9. Под действием силы, возникающей из-за разности площадей поршневых поверхностей клапана 8 последний, перемещается в левое положение и цикл повторяется.

$$Q_н = Q_{ГПА} + Q_M \ , \tag{1}$$

$Q_{ГПА}$ - расход рабочей жидксти в ГПА ;

Q_M - расход, потребляемый гидравлическим ударным устройством, состоит из расходов в камере прямого и обратного хода: $Q_M = Q_1 + Q_2$

Q_1 - расход, поступающий в камеру прямого хода, $Q_1 = vS_1$

Q_2 - расход, поступающий в камеру обратного хода, $Q_2 = -vS_2$;

v - скорость движения бойка;

S_1, S_2 - площади рабочих поверхностей бойка в камерах прямого и обратного хода, согласно принятой схемы:

$$S_1 = \frac{\pi d_1^2}{4}, S_2 = \frac{\pi(d_1^2 - d_2^2)}{4}.$$

Текущее состояние гидропневмоаккумулятора описывается уравнением:

$$p_{оз}W_{оз}^{\kappa} = p_T W_T^k \tag{2}$$

Что соответствует адиабатному процессу расширения и сжатия газа, в левой части формулы значения начального давления и объёма воздуха, справа – текущие значения, $k = 1{,}4$ - показатель адиабаты.

Текущий объем воздушной камеры определяется количеством жидкости, находящейся в гидропневмоаккумуляторе:

$$W_T = W_{оз} - \int_0^{\tau} Q_{ГПА}(t)dt \tag{3}$$

Давления в рабочих камерах (P_1 -в камере прямого хода, P_2 - в камере обратного хода) в период прямого хода

$$\begin{aligned} P_1 &= P_T - \rho g a_1 Q_1 |Q_1|, \\ P_2 &= P_T - \rho g a_2 Q_2 |Q_2| \end{aligned} \tag{4}$$

для обратного хода:

$$P_1 = \rho g a_{сб} Q_1^2,$$

де $a_1, a_2, a_{сб}$ - эквивалентные гидравлические сопротивления напорной магистрали, канала высокого давления камеры обратного хода и сливной магистрали соответственно.

Движения бойка осуществляется под действием равнодействующих сил давления на рабочие поверхности бойка:

$$m_б \frac{d^2x}{dt^2} = P_1 S_1 - P_2 S_2 - F_{тр} \tag{5}$$

Тут $F_{тр} = k_{тр} sign(\frac{dx}{dt})(|P_1 - P_2|S_{тр1} + P_1 S_{тр2})$ - сила трения, $k_{тр}$ - коэффициент трения смоченной пары сталь-резина, $k_{тр} = 0{,}15$, $S_{тр1} = \pi d_2 h, S_{тр2} = \pi d_1 h$, $h -$ ширина уплотнительной манжеты.

Энергия удара гидравлического ударного устройства рассчитывается по формуле:

$$E = \frac{m_б v^2}{2}, \tag{6}$$

где $m_б$ - масса бойка, v - максимальная скорость бойка (перед ударом).

Ударная мощность

$$N_y = Ef \tag{7}$$

где f - ударная частота, $f = \frac{1}{T}$, где T - время цикла, с.

Представленная математическая модель свидетельствует, что эффективность работы гидравлического ударного устройства определяется большим количеством параметров: конструктивными размерами (диаметры, ход поршня-бойка, масса бойка), значения параметров потока, подводимого от гидропневмоаккумулятора, гидравлических сопротивлений каналов и т.д. Для более детального исследования рабочего процесса была применена вычислительная техника.

Решение поставленной задачи анализа работы системы и выбора основных конструктивных параметров выполнено методом имитационного моделирования на персональном компьютере.

Имитационная модель рабочего процесса гидравлического ударного устройства строится строго по уравнениям математического описания. Интегрирование дифференциального уравнения движения поршня-бойка (определение скорости и координаты положения бойка) наиболее целесообразно выполнять методом Эйлера, который является достаточно простым и наглядным для решения поставленной задачи. Геометрическая интерпретация метода Эйлера состоит в измерении интегральной кривой ломаной линией. Звенья ломаной Эйлера в каждой вершине имеют направление, совпадающее с направлением интегральной кривой уравнения. Последовательность ломаных Эйлера при достаточно малом шаге интегрирования стремится к искомой интегральной кривой.

На рис. 2 показана блок-схема алгоритма моделирования рабочего процесса гидравлического ударного устройства.

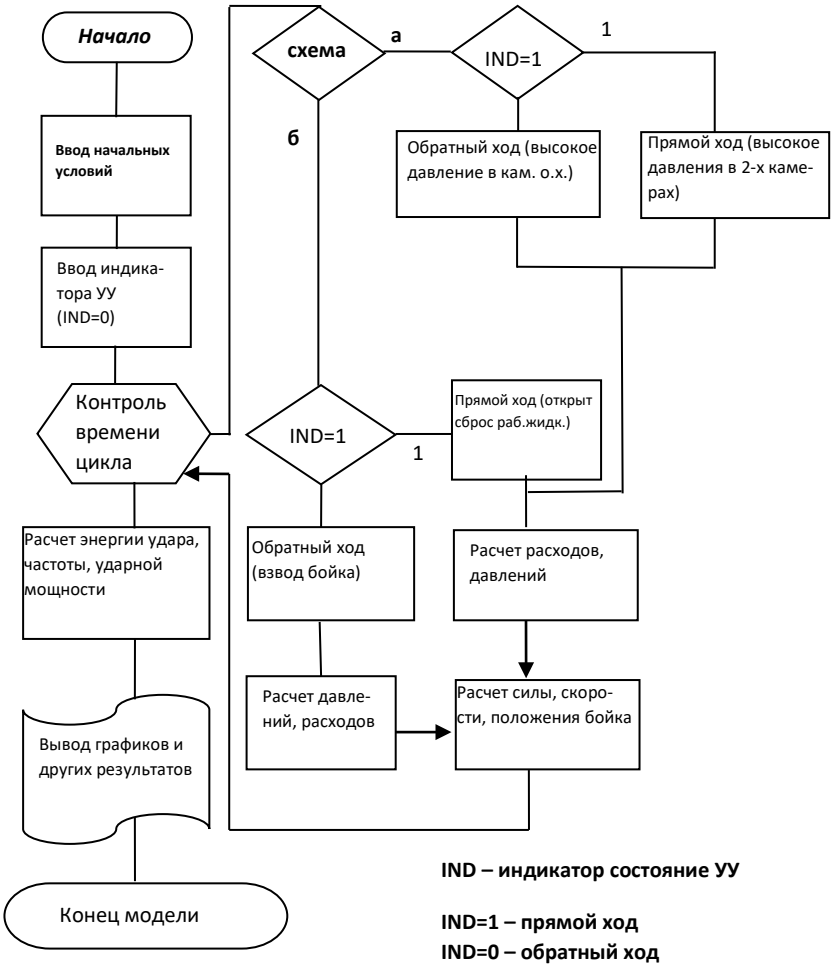


Рис. 2. Блок-схема алгоритма моделирования рабочего процесса гидравлического ударного устройства

На основе имитационного моделирования проведен математический эксперимент 2-го порядка и по его результатам была построена аналитическая зависимость:

$$E = f(m_б, p_{оз}, W_{оз}, k_1, k_2, k_3)$$

где: $k_1 = \frac{S_2}{S_1}$ - соотношение рабочих площадей, $k_2 = \frac{\beta_{сб}}{\beta_1}$ - относительное сопротивление сброса, $k_3 = \frac{S_1 x_o}{W_{оз}}$ - относительный объем камеры прямого хода.

Построенное уравнение регрессии имеет вид:

$$E=38.45+0.915x_1-0.46x_2-3.97x_3+0.207x_4-0.86x_5+7.71x_6-1.22x_1^2+0.37x_2^2-3.103x_3^2-2.41x_4^2+0.65x_5^2+2.05x_6^2$$

Полученное уравнение позволило построить графики парных зависимостей энергии удара от рассмотренных факторов:

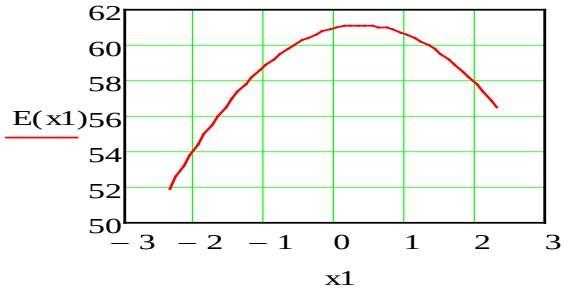


Рис. 3. График зависимости энергии удара от массы бойка

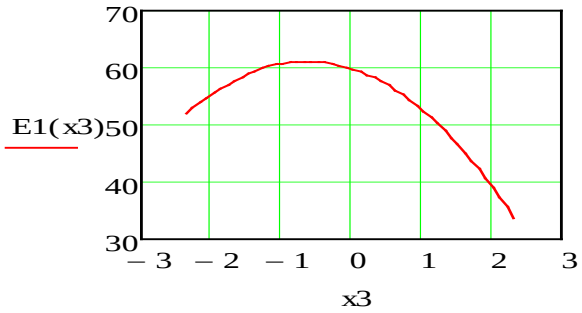


Рис. 4. График зависимости энергии удара от объема гидропневмоаккумулятора

Анализ приведенных графиков позволил определить зону рациональных параметров гидравлического ударного устройства.

Список литературы: **1.** Тимошенко Г.М., Яценко А.Ф., Селивра С.А. Гидравлический ударный механизм исполнительного органа буровых машин // Уголь Украины, - 1984. - №11. – с. 24 – 25. **2.** Селивра С.А. Разработка гидравлических устройств ударного действия для разрушения горных пород. Дисс. канд. техн. наук: 05.05.06. – Донецк,1986. – 194 с. **3.** Яценко А.Ф., Селивра С.А., Коваленко В.И. Испытание экспериментального гидравлического устройства ударного действия // Изв. вузов. Горный журнал. – 1995 – №7. – с.109 – 111. **4.** Коваленко В.И. Разработка и обоснование рациональных параметров гидроударных устройств шахтных бурильных машин.: Автореф. Дис. канд. техн. наук. - Донецк: ДПИ, 1996. **5.** Петров Н.Г., Павлов А.С. Волновые процессы в гидросистемах ударных механизмов бурильных машин. – М.: Издательство «Наука», 1982.

СИСТЕМНЫЙ ПОДХОД К СБОРКЕ БАНДАЖИРОВАННЫХ РАБОЧИХ КОЛЕС ТУРБОМАШИН

Семенов А. Н., Непомилуев В.В. *(РГАТУ имени П. А. Соловьева, г. Рыбинск, Россия)*
Тел.: +7 (4855) 222334; E-mail:Semenov.an@mail.ru

***Abstract**: The questions of optimization of assembly parameters of bandage wheels air and power turbo engines are considered. On the basis of the system approach physical assembly parameter is offered and the necessity of the simultaneous account of geometrical and physical parameters is shown. For optimization of the physical characteristics the dynamic model of bandage a rim as elastic system is developed, which elements should be analyzed on the basis of the stochastic differential equations.*

***Key words:** Accuracy, size, technology, machine quality, assembly.*

При производстве технически сложных изделий машиностроения, к которым относятся газотурбинные двигатели авиационного и энергетического назначения, возникает необходимость одновременного обеспечения большого количества геометрических, физических и других функциональных параметров. В этой связи возникает проблема обеспечения производственной взаимозаменяемости деталей по многим параметрам. Совокупность сборочных параметров представляет собой конечное множество, поскольку круг рассматриваемых параметров при решении конкретных проблем достаточно ограничен. Собственными подмножествами такого множества будут множества геометрических, физических, экономических и других параметров

$$M \subset (Г; Ф; Е; ...), \quad (1)$$

где Г – множество геометрических параметров; Ф – множество физических параметров; Е – множество экономических параметров и т. д.

Необходимым и достаточным условием принадлежности какого либо параметра к данному множеству является принадлежность свойства, характеризуемого этим параметром, непосредственно элементу изделия, описываемому множеством M. Между всеми параметрами множества M существует определенная функциональная зависимость. Параметры, непосредственно влияющие на функциональные свойства элемента или всего изделия, называются функциональными, а параметры, влиянием которых можно пренебречь, - свободными параметрами.

Рассматривая основные параметры лопаток компрессора и турбины газотурбинных двигателей можно выявить совокупность геометрических и физических характеристик, используемых в качестве сборочных параметров: линейные и угловые размеры, массу, статический момент. Параметры лопаток, непосредственно определяющие их функциональные свойства и всего узла, такие как размеры профиля пера и лопаточной решетки, шероховатость, усталостная долговечность и др. являются собственными параметрами элемента и узла и, как правило, используются при сборке без дополнительных затрат на комплектацию, т.е. методом полной взаимозаменяемости.

Параметры, обеспечивающие совместное функционирование элементов в узле можно определить как функциональные несобственные параметры данного элемента. Несобственные параметры, принадлежащие смежным элементам изделия, в большинстве случаев являются сопряженными, поэтому при изменении одного из них необходимо и возможно изменение других параметров таким образом, чтобы их суммарное влияние существенным образом не ухудшило функциональных свойств всего изделия. Для обеспечения надлежащего качества функционирования изделия для этих параметров используются различные технологические методы их адаптации, такие как методы сборки с групповой взаимозаменяемостью, пригонки, регулировки.

Наиболее сложным случаем обеспечения качества функционирования изделия является тот, когда элементы изделия должны быть также сопряжены одновременно по многим собственным подмножествам: геометрическим сопряжениям, весу, распределению масс, статической и динамической напряженности, образуя полностью и частично сходящиеся, а также расходящиеся критерии [1].

На рис. 1 приведен пример частично расходящихся критериев сборочной оптимизации, к которым могут быть отнесены параметры замкового и бандажного сопряжений, статической и динамической уравновешенности.

Если множества с полностью и частично расходящимися критериями, границы которых обозначены

$$M_1, M_2, M_3, M_4, \qquad (1)$$

удовлетворяют требованиям оптимизации, то искомые элементы должны отвечать условию принадлежности к каждому множеству, что записывается следующим образом

$$M_1 \bigcap M_2 \bigcap M_3 \equiv X \qquad (2)$$

Если $X \neq 0$, то существует оптимальное решение, соответствующее всем ограничивающим критериям. Если же параметры лежат вне областей пересечения, то они будут свободными и не должны подлежать оптимизации.

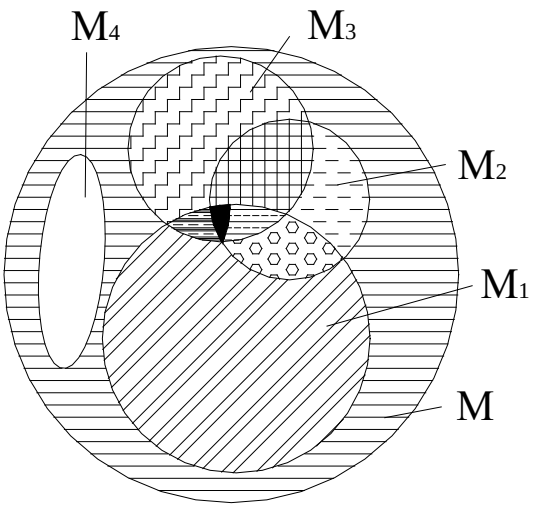


Рис. 1. Пример частично расходящихся критериев

Очевидно, что условия взаимозаменяемости для связанных элементов не могут быть абсолютными, поэтому степень их взаимозаменяемости в изделии большинстве случаев будет сильно ограничена. Наиболее сложным случаем является оптимизация частично пересекающихся критериев, когда область существования совместного решения крайне мала. Поэтому в процессе производства должно быть предусмотрено воздействие на часть параметров элемента конструкции с целью улучшения собираемости и уменьшения излишних запасов сборочных элементов изделия.

Параметры реальных конструкций в большей или меньшей степени отличаются от номинальных значений, определяемых на стадии проектирования. Отклонения обуславливаются технологическими погрешностями изготовления и сборки, температурными и силовыми деформациями и другими факторами случайного характера. Эти отклонения существенно искажают характеристики конструкций. В реальных условиях работы случайный характер имеют также силовые и кинематические возмущения, действующие на отдельные элементы конструкции. Случайный характер силовых возмущений определяется не идентичностью теоретически одинаковых рабочих процессов, отклонениями инерционных нагрузок, случайным характером сил трения и кинематических возмущений. Для создания эффективных, надежно работающих механизмов необходимо на стадии проектирования учитывать реальные условия изготовления и функционирования.

Одной из основных причин появления устойчивых статистических отклонений выходных параметров и функциональной надежности является то, что помимо явных критериев оптимизации, многие конструкции и механизмы содержат скрытые параметры, которые существенно влияют на характер функционирования, долговечность и надежность в эксплуатации. Выявление подобных параметров и включение их в процедуру оптимизации возможно лишь при использовании системного подхода. Одним из таких параметров, определяющих надежность и технический уровень бандажированных колес газотурбинных двигателей, является крутильная жесткость лопаток.

Анализ статистических данных по размерам бандажных полок ремонтных лопаток компрессора и турбины двигателей Д30КУ, КП показал, что их износ хорошо описывается нормальным законом распределения, характеризуется большой дисперсией, и что помимо лопаток с недопустимо изношенными поверхностями, имеется достаточное количество лопаток, практически не подвергнутых износу.

Исследование ремонтных и новых лопаток на предмет изучения упругих характеристик показал, что их крутильная жесткость C_z [2], практически не учитываемая при

прочностных расчетах лопаток, колеблется в исследованных партиях в пределах 30%, при этом по геометрическим параметрам пера лопатки являются кондиционными. Сравнительный анализ показал, что распределение крутильной жесткости практически совпадает характеристиками распределения износа бандажных полок, что приводит к выводу о наличии между ними прямой взаимосвязи. Таким образом, задачу оптимизации сборки необходимо дополнить критерием, который должен обеспечить уменьшение разброса контактных давлений по бандажным полкам.

Введение дополнительного физического параметра сборки требует также глубокого динамического анализа конструкции для определения оптимальных характеристик физических параметров [3, 4].

В первом приближении бандажированное рабочее колесо может быть отнесено к квазистатическому механизму, преобразующему энергию колебательного движения пера лопаток в механическое движение контактных граней, динамическая модель которого представлена на рис. 2.

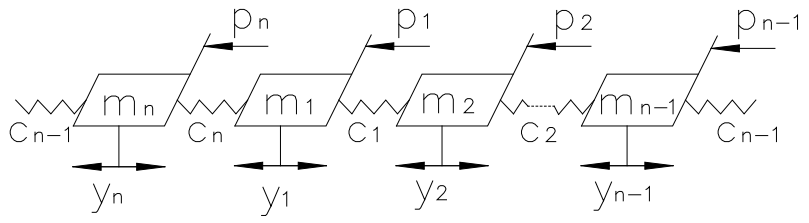


Рис. 2. Динамическая модель бандажного обода с кинематическим и силовым возбуждением

Для его динамического синтеза, уравнения движений полок можно представить в виде системы стохастических дифференциальных уравнений:

$$\frac{dU}{dt} = A(\xi)U + \varphi(t), \quad U(0) = U_0, \tag{3}$$

где U - вектор фазовых координат; $A(\xi)$ - матрица системы, зависящая от случайного вектора ξ параметров механизма; $\varphi(t)$ - вектор функция возмущений.

В общем случае $\varphi(t) = \begin{bmatrix} P(t) \\ y(t) \end{bmatrix}$, где $P(t)$ - силовое, $y(t)$ - кинематическое возмущения.

Возмущения $P(t)$, $y(t)$ являются случайными процессами. Сила, действующая на q – е звено механизма,

$$P_q(t) = \{ M[P_q(t)] + \Theta_q(t); q = \overline{1,k} \}, \tag{4}$$

где M - символ математического ожидания, $M[P_q(t)]$ - детерминированная составляющая возмущения; $\Theta_q(t)$ - центрированный случайный процесс, определяющий случайную составляющую возмущения. В аналогичном виде можно представить также кинематическое возмущение $y(t)$.

Вектор параметров конструкции является случайным, т.е. $\xi = \{x_j + \mu_j; j = \overline{1,n}\}$, где x, μ - детерминированная и случайная составляющие; n - число варьируемых параметров механизма.

Таким образом, обеспечение качества и надежности работы бандажированных рабочих ступеней газотурбинных двигателей требует оптимизации не только геометрических, но и физических параметров сборочной системы.

Список литературы: 1. Дитрих Я. Проектирование и конструирование: Системный подход. - М.: Мир, 1981.-451 с., ил. **2.** Биргер И.А. и др. Расчет на прочность деталей машин: Справочник. М., Машиностроение, 1979.- 702 с. **3.** Крюков Б.Н.. Литвин Л.М., Соболь И.М., Статников Р.Б. Оптимальное проектирование резонансных вибромашин. //Машиноведение, 1980, №5. **4.** Нурминский Е.А., Кулик В.К. Об оптимальном синтезе механизмов с учетом случайного характера возмущений и отклонений параметров. //Машиноведение, 1980, № 1.

ПРОЦЕССНЫЙ ПОДХОД К ПОДГОТОВКЕ СПЕЦИАЛИСТОВ В ТЕХНИЧЕСКОМ ВУЗЕ

Симкин А.З., Можаева Т.П., Проскурин А.С. *(БГТУ, г. Брянск, Россия)*
Тел./Факс: +7 (4832) 566211; E-mail: goa-bgtu@mail.ru

Abstract: *The article considers the basics of training engineering specialists based on the interpretation of the process approach to the management of an educational organization in accordance with the version of international standards ISO 9000:2015. The expediency of applying this approach to ensure the quality of educational activities of higher education institutions is argued.*

Keywords: *quality management system, process approach, ISO 9000:2015; training of specialists.*

Сегодня обеспечение качества подготовки специалистов инженерного профиля на основе реализации процессно-ориентированного подхода является одним из факторов конкурентного преимущества вуза на рынке образовательных услуг, а реализация механизмов гарантии качества в разработке и организации образовательного процесса демонстрирует заинтересованным сторонам возможности вуза удовлетворять их требования и ожидания. Подтверждение качества образовательных услуг, оказываемых высшими учебными заведениями, реализуется в контексте концепции «качество системы – качество процессов – качество результатов», успешное осуществление которой обеспечивает качество подготовки специалиста инженерного профиля.

Мировое и отечественное научное сообщество с целью гарантии качества оказания образовательной организацией услуг предложило трехуровневую траекторию подтверждения их соответствия требованиям потребителей и заинтересованных сторон в контексте рассматриваемой концепции качества, в частности [1, 2]:

- институциональный уровень – общественная аккредитация и/или сертификация систем менеджмента (оценка образовательных организаций на соответствие критериям и требованиям российских, иностранных и международных организаций, требованиям национальных и международных стандартов на системы менеджмента и системы гарантии качества образования);
- программный уровень – профессионально-общественная аккредитация (оценка образовательных программ, отвечающих требованиям профессиональных стандартов, запросам рынка труда, предъявляемых к работнику соответствующего профиля, т.е. признания качества и уровня подготовки выпускников, освоивших образовательную программу в конкретной организации, осуществляющей образовательную деятельность);
- квалификационный уровень – оценка квалификаций (оценка компетенций выпускников на соответствие профессиональным стандартам или квалификационным требованиям, установленным федеральными законами и иными нормативными правовыми актами).

Трехуровневая система подтверждения гарантии качества профессионального образования позволяет высшему учебному заведению самостоятельно выбирать уровни, траектории и механизмы обеспечения качества подготовки специалистов. Исследование данного вопроса на практике продемонстрировало, что в рамках трехуровневой системы оценки качества перспективной является разработка и интегрирование системы менеджмента качества (СМК) образовательной организации в общую систему менеджмента вуза, что не исключает одновременное использование всех трех траекторий подтверждения качества.

Концептуальной основой любой модели системы качества, используемой в высшем учебном заведении (типовая моль системы качества (ISO 9000 & ENQA), ISO 21001:2018, EFQM, международный стандарт ISO 21001:2018 и пр.) является процессный подход к управлению организацией. С введением в действие новой версии международных стандартов ISO 9000:2015 трактовка процессного подхода подверглась модификации, что вызывает необходимость совершенствования действующих в вузах систем качества.

Под процессным подходом в рассматриваемом стандарте [3] понимают планирование процессов организации и их взаимодействие, реализацию цикла PDCA и риск-ориентированное мышление, позволяющее определять факторы, которые могут привести к отклонению от запланированных результатов процессов и СМК организации, а также использовать предупреждающие действия для минимизации негативных последствий и максимального использования возникающих возможностей.

При этом процесс – это совокупность взаимосвязанных и (или) взаимодействующих видов деятельности, использующих входы для получения намеченного результата, где продукция рассматривается как результат такого процесса. Процесс протекает в соответствии с управляющими директивами, вырабатываемыми на основе целей деятельности, и наличием ресурсов (информационных, финансовых, материально-технических, человеческих), определяемых возможностями и ограничениями, создаваемыми другими процессами и внешней средой организации.

Такая детализация образовательных услуг в контексте процессного подхода позволяет достаточно четко установить параметры, их описывающие, что снижает уровень неопределенности у персонала вуза в понимании целей, результатов и пр. своей деятельности по подготовке специалистов инженерного профиля. Визуализация процессной модели подготовки специалиста может производиться на основе использования стандарта IDEF0 и представляет собой систему иерархически взаимосвязанных SADT-диаграмм в виде древовидной структуры.

Каждая описываемая система содержит контекстную диаграмму верхнего уровня, состоящую из одного блока, стрелок и информации, отображающих связь рассматриваемого объекта с внешней средой. Информационная модель подготовки специалиста инженерного профиля представлена на рис. 1

Рис. 1. Информационная модель подготовки специалиста

С целью детализации информации о сущности процесса подготовки специалиста инженерного профиля предполагается декомпозиция контекстной диаграммы на основные подпроцессы путем создания дочерних диаграмм (рис. 2).

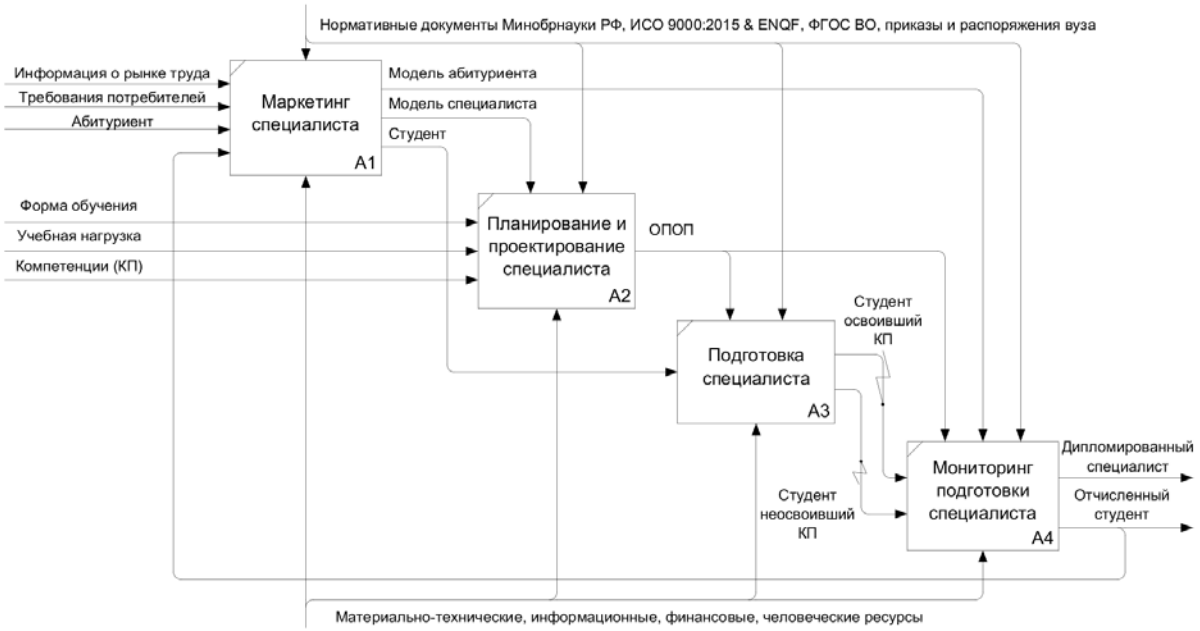


Рис. 2. Функциональная модель подготовки специалиста

На входе модели подготовки специалиста инженерного профиля подается ресурс, подвергаемый преобразованию и представленный в двух видах:

- информацией об элементах образовательной программы (форма обучения; направление и профили подготовки; учебная нагрузка; компетенции, которые должны быть освоены студентом в данной образовательной программе и т.д.); тенденциях развития рынка труда; требованиях потребителей и заинтересованных сторон, предъявляемые к образовательным услугам и пр.;
- абитуриентом, обладающим соответствующим / несоответствующим для освоения образовательной профессиональной программы уровнем исходной подготовки.

На выходе модель демонстрирует результаты процесса, представленные дипломированным специалистом, отвечающим требованиям всех потребителей и заинтересованных сторон, и отчисленным из вуза студентом, не соответствующим запросам и ожиданиям, предъявляемым потребителями к специалисту исследуемого профиля.

Процесс по подготовке специалиста инженерного профиля развивается в установленных границах, которые определяются, в частности:

- управляющими директивами (нормативно-методическими документами Минобрнауки Российской Федерации; типовой моделью системы качества (ISO 9000 & ENQA) на основе интегрирования международных стандартов ИСО 9000:2015, «Стандартов и директив ENQA», разработанных Европейской ассоциацией гарантий качества в высшем образовании (ENQA – European Network for Quality Assurance in Higher Education) и внутренней системой оценки гарантии качества [1]; ФГОС ВО; приказами и распоряжениями руководства вуза);
- ресурсным обеспечением (информационными, финансовыми, материально-техническими, человеческими ресурсами высшего учебного заведения).

Ответственными за процессы в модели подготовки специалиста инженерного профиля являются руководители заявленных подразделений вуза (заведующий кафедрой, декан факультета / института, начальник учебно-методического управления и т.д.). Владельцами работ по заданиям обычно являются отдельные сотрудники университета.

В свою очередь, каждый из блоков диаграммы функциональной модели подвергается декомпозиции до тех пор, пока не будут достигнуты поставленные цели, в частности представлена с заданной степенью точности картина развертывания процесса подготовки специалиста исследуемого профиля.

Реализация цикла PDCA позволяет вузу обеспечить его процессы необходимыми ресурсами, осуществлять их менеджмент, определять и реализовывать возможности для улучшения. Информация по реализации цикла PDCA документируется в информационных картах процессов, документированных процедурах и т.д.

Если деятельность по проектированию процессов (структурирование процессов, применение языков и процедур их описания и пр.), реализации процедур на основе цикла PDCA достаточно разработаны, то внедрение в процессы СМК вуза риск-ориентированного подхода представляет не только научный (в связи с изменением стандартов ISO 9000:2015), но и практический интерес.

ISO 9001:2015 не содержат требований по применению конкретных методик оценки рисков и возможностей, оказывающих влияние на процессы подготовки специалистов инженерного профиля, и вуз может выбрать тот инструмент, который удовлетворяет его потребностям. Общие руководящие указания по выявлению, управлению и выбору методов оценки рисков содержатся в новой версии серии международных стандартов ISO 31000:

- ISO 31000:2018 «Менеджмент риска – Руководство», устанавливающего общие руководящие указания (модель) по идентификации и управлению рисками;
- ISO/IEC 31010:2019 «Менеджмент риска. Технологии оценки риска», включающего рекомендации по выбору и применению различных технологий, которые могут быть использованы для понимания неопределенности и риска, связанных с деятельностью организации.

Интегрирование международных стандартов ISO 31000 в модель СМК вуза позволит реализовать риск-ориентированный подход к управлению процессами подготовки специалистов инженерного профиля. В этой связи представляется целесообразным внедрение в управление процессами подготовки специалистов следующих риск-ориентированных процедур: идентификация, структурирование, анализ, оценивание образовательных рисков и возможностей, выбор стратегии управления рисками и возможностями. Риски и возможности образовательной организации, связанные с подготовкой специалистов, должны быть определены и задокументированы в виде реестра, паспорта рисков и возможностей и пр.

Организация подготовки специалистов инженерного профиля на основе новой интерпретации процессного подхода представляется достаточно важной для повышения качества выпускников вуза и конкурентоспособности учебного заведения на рынке образовательных услуг.

Список литературы: **1.** Круглов, В.И. Качество высшего образования: монография / В.И. Круглов, В.В Силаева, О.А. Горленко и [др.]; под ред. В.М. Кутузова. – СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2018. – 133 с. **2.** Круглов, В.И. Гарантия качества образования: монография / В.И. Круглов, В.В. Азарьева, О.А. Горленко и [др.]. – Старый Оскол: ТНТ, 2017. – 170 с. **3.** ГОСТ Р ИСО 9000-2015. Системы менеджмента качества. Основные положения и словарь.

ВЛИЯНИЕ ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ ПРИ КОМНАТНОЙ ТЕМПЕРАТУРЕ И ПОСЛЕДУЮЩЕГО ОТЖИГА НА СТРУКТУРУ И ТВЕРДОСТЬ СПЛАВА Al–22%Zn

Скворцов А.И., Бердов Д.А. *(ВятГУ, г. Киров, Россия)*
Тел. +7 (8332) 74-24-91; E-mail: skvorcov@vyatsu.ru

Abstract: *The influence of the degree of plastic deformation at room temperature on the structure of the burnt alloy Al–22%Zn is studied. Analyzed change in the hardness and structure of the alloy after the subsequent burning.*
Keywords: *Alloy Al–22%Zn; plastic deformation; aging; hardness; microstructure.*

Введение

В работах [1 – 4] показано, что на характер зависимости твёрдости от степени пластической деформации сплавов Zn–Al влияет режим предварительной термической обработки, химический состав сплава. При увеличении степени пластической деформации твёрдость сплава может повышаться и понижаться.

Упрочнению при пластической деформации способствует увеличение плотности дислокаций, увеличение плотности таких элементов структуры как: выделений дисперсных фаз, границ зерен, границ внутризеренной химической неоднородности, – являющихся барьерами на пути дислокаций при их движении. Разупрочнению при пластической деформации способствует формирование мелкозернистой структуры с компактной формой зерен. Такая структура обладает пониженным сопротивлением скольжению по границам зерен при внешнем механическом воздействии [4].

В работе [5] дана зависимость твердости предварительно отожжённых сплавов Al–Zn от степени пластической деформации при комнатной температуре. Представляет интерес проанализировать изменение при этом микроструктуры сплава Al–22%Zn, а также исследование изменения твердости и структуры при нагреве этого сплава после деформации, что и является целью настоящей работы.

Методы исследования

Исследовали сплав Al–22%Zn (78,2 % Al, не более 0,15 % примесей, остальное – Zn), выплавленный в открытой тигельной печи из чистых шихтовых материалов (% – массовые). Отливки диаметром 12 мм и длиной 70 мм получали литьем в металлическую форму. Из отливок изготавливали образцы диаметром 10 мм и высотой 15 мм. Перед пластической деформацией образцы подвергали отжигу при температуре 400 °С. Далее образцы подвергали пластической деформации осадкой при комнатной температуре на гидравлическом прессе с различными степенями деформации ε. Деформированный сплав подвергали отжигу в интервале температур от комнатной до 210 °С, то есть ниже температуры ограниченной растворимости Zn в α-фазе, которая, согласно диаграмме состояния сплавов системы Al–Zn, равна для изучаемого сплава 240 °С.

Твёрдость HV измеряли на приборе ТВМ 1000 по стандартной методике. Микроструктуру изучали на микроскопе «Neophot 21» после травления образцов погружением в реактив составом: H_2SO_4 – 10 мл, HF – 10 мл, H_2O – 80 мл, – с последующей промывкой в воде.

Результаты и их обсуждение

Из работы [6] следует, что сплав Al–22%Zn является дисперсионно-упрочняемым. Данные работы [5] показывают, что сплаву Al–22%Zn характерно лишь упрочнение с увеличением степени пластической деформации при комнатной температуре, а увеличение твёрдости сплава при этом обусловлено увеличением плотности дислокаций, то есть усилением работы дислокационного механизма.

Анализ изменения микроструктуры (рис.) показывает, что с увеличением степени пластической деформации при комнатной температуре увеличивается степень текстурованности микроструктуры, а именно: степень слоистости микроструктуры, степень сплющенности зерен.

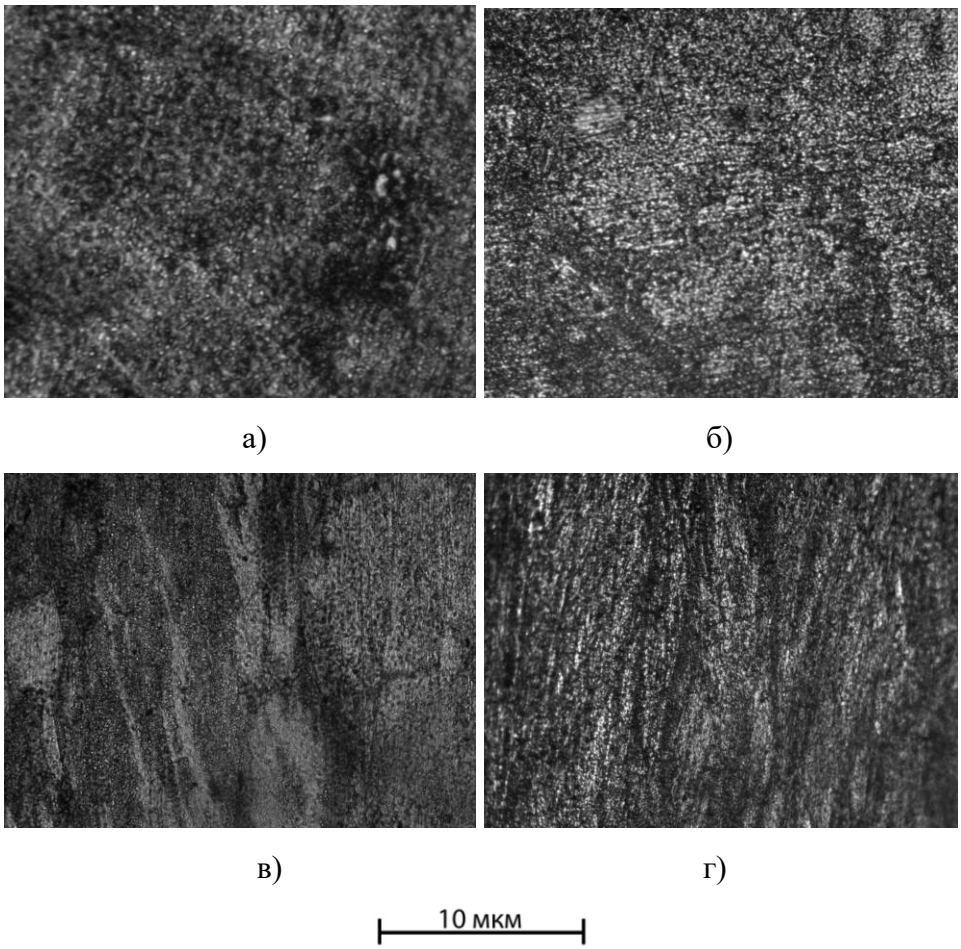


Рис.1. Микроструктура предварительно отожжённого сплава Al–22%Zn после пластической деформации при комнатной температуре ε, %: а – 0, б – 21 , в – 51, г – 80

Увеличение температуры отжига сплава после его деформации сопровождается повышением твердости в интервале температур 50 – 80 °С и ее снижением при более высоких температурах отжига. Это видно из таблицы на примере деформированного на 80 % сплава.

Таблица 1. Влияние температуры отжига на твердость деформированного на 80 % сплава Al–22%Zn

t, °С	23	50	80	110	140	170	210
HV	103	109	109	99	90	86	75

Данные по изменению твердости при увеличении температуры отжига свидетельствуют о том, что пластическая деформация сплава с равновесной структурой приводит к частичному растворению обогащенной цинком β-фазы в α-твердом растворе, делая его пересыщенным по отношению к Zn. Последующий нагрев сплава до температур 50 – 80 °С вызывает дисперсионное твердение участков α-твердого раствора, обогащенных цинком, из-за выделения в них дисперсных частиц.

Снижение твердости выше температуры 80 °С (табл.) обусловлено процессом коагуляции упрочнявших α-твердый раствор частиц, а также процессами рекристаллизации. Разделение этих процессов по температуре и по влиянию на свойства предполагает использование более тонких методов исследования.

Выводы

1. Увеличение твердости отожженного сплава Al–22%Zn, обусловленное повышением степени пластической деформации, сопровождается увеличением степени текстурованности микроструктуры: степени ее слоистости, степени сплющенности зерен.

2. Пластическая деформация при комнатной температуре отожженного сплава приводит, как предполагается, к частичному растворению обогащенной цинком β-фазы в α-твердом растворе, делая его пересыщенным по отношению к Zn. Последующий нагрев сплава до температур 50 – 80 °С вызывает дисперсионное твердение участков α-твердого раствора, обогащенных цинком, из-за выделения в них дисперсных частиц. Снижение твердости сплава выше температуры 80 °С обусловлено процессом коагуляции упрочнявших α-твердый раствор частиц, а также процессами рекристаллизации.

3. На практике необходимо учитывать возможность изменения механических свойств сплавов, подобных дисперсионно-твердеющему сплаву Al–22%Zn, при пластической деформации и последующих нагревах до относительно невысоких температур.

Список литературы: 1. Мазилкин А. А., Страумал Б. Б., Протасова С. Г., Когтенкова О. А., Валиев Р. З. Структурные изменения в алюминиевых сплавах при интенсивной пластической деформации // Физика твердого тела. 2007. Т. 49, № 5. С. 824–829. **2.** Скворцов А. И. Влияние пластической деформации при комнатной температуре на упрочнение и разупрочнение металлов и сплавов системы алюминий–цинк // Общество, наука, инновации (НПК-2016). Сборник материалов Всероссийской ежегодной научно-практической конференции. Секция «Материаловедение и технологии сварки. Наноматериалы и нанотехнологии». Киров: ФГБОУ ВПО «Вятский государственный университет», 2016. С. 243–248. **3.** Грабар А. А., Ведерников Я. Д., Елпашева Е. В., Исупов С. В., Погодин Д. С., Скворцов А. И. Влияние предварительной обработки на зависимость сплавов ЦА35 и ЦА63 от степени пластической деформации // Общество, наука, инновации (НПК-2015). Сборник материалов Всероссийской ежегодной научно-практической конференции. Киров: ФГБОУ ВПО «Вятский государственный университет», 2015. С. 551–554. **4.** Скворцов А. И. Изменение механизмов упрочнения-разупрочнения сплавов Zn–Al при пластической деформации и последующей термической обработке // Актуальные проблемы физического металловедения сталей и сплавов. Материалы XXIV Уральской школы металловедов-термистов. Магнитогорск: ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», 2018. С. 65–66. **5.** Скворцов А. И., Полев В. В. Разупрочнение и упрочнение сплавов системы Zn–Al при пластической деформации // Металловедение и термическая обработка металлов. 2017. № 8. С. 31–36. **6.** Скворцов А. И. Демпфирующие и механические свойства сплавов цинк–алюминий // Известия вузов. Цветная металлургия. 1991. № 1. С. 118–122.

ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ПРОДОЛЬНОГО ПРОФИЛЯ ОТВЕРСТИЯ ПРИ ЧИСТОВОЙ ОБРАБОТКЕ ОСЕВЫМ ИНСТРУМЕНТОМ

Татьянченко А.Г. *(Донецкий национальный технический университет, г. Донецк)*
Тел./Факс: +38 (062) 3010738; E-mail*:* *sopromat@fimm.donntu.org*

Abstract: *A numerical model of the development of temperature deformations of the part in the cutting zone during the treatment of holes with an axial tool has been developed. On its basis, the process features were studied and it was established that the thermal deformations of the part in the cutting zone are the main cause of distortion of the longitudinal profile of the hole and the formation of its characteristic barrel-shaped shape. Nonlinearity of diagram of radial displacements and its causes was revealed.*
Keywords: *Finishing, axial tool, longitudinal pro-film holes, barrel-shaped.*

Введение. Основной причиной искажения продольного профиля отверстия при чистовой обработке осевым инструментом, который имеет характерную бочкообразную форму, являются температурные деформации детали в зоне резания [1,2]. Процесс чистовой обработки отверстия имеет ряд особенностей (закрытость зоны резания, совпадение зоны резания с максимальными температурными деформациями и другие), которые не позволяют эффективно бороться с негативным влиянием температурных деформаций детали точность продольного профиля отверстия за счет традиционных подходов (охлаждение, корректировка положения режущих кромок). Поэтому в настоящее время основным способом повышения точности продольного профиля отверстий при чистовой обработке осевым инструментом являются нестандартные технологические подходы (варьирование режимов резания по глубине отверстия, взаимная компенсация погрешностей различной физической природы), для реализации которых необходимо иметь достоверные данные о характере изменения температурных деформаций детали по глубине отверстия.

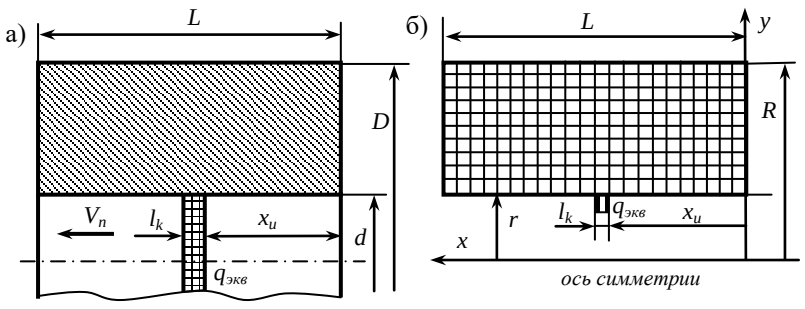


Рис.1. Моделирование теплового нагружения цилиндрической втулки при чистовой обработке отверстия : а) нагружение кольцевым тепловым источником; б) конечно-элементная модель

Основное содержание работы. Несмотря на очевидность постановки термоупругой задачи (нагружение внутренней поверхности отверстия движущимися тепловыми источниками известной интенсивности) решить ее корректно известными методами теплофизики даже для простых конфигураций деталей невозможно. Известные попытки прогнозирования величины термоупругих деформаций детали и объяснения причин формирования бочкообразной формы отверстия основывались на неверных предпосылках и поэтому оказались неудачными. Анализ этих работ показывает, что в них были приняты существенные допущения, исказившие итоговый результат. Основные из них – это статический характер теплового нагружения, замена объемной задачи плоской и пренебрежение геометрией детали. Очевидно, что устранение этих недостатков возможно только на основе численного моделирования с использованием современных пакетов МКЭ.

С учетом этого автором были разработаны конечно-элементные модели реальных конструкций деталей с отверстиями [3,4,5]. При этом непрерывный процесс обработки отверстия и движения инструмента по глубине отверстия представлялся в виде последовательного приложения кольцевых тепловых источников (рис.1). На первом этапе исследовались деформации осесимметричной детали типа цилиндрической втулки, что позлило ограничиться рассмотрением нагружения половины плоской половины продольного сечения детали (с опцией осесимметричности).

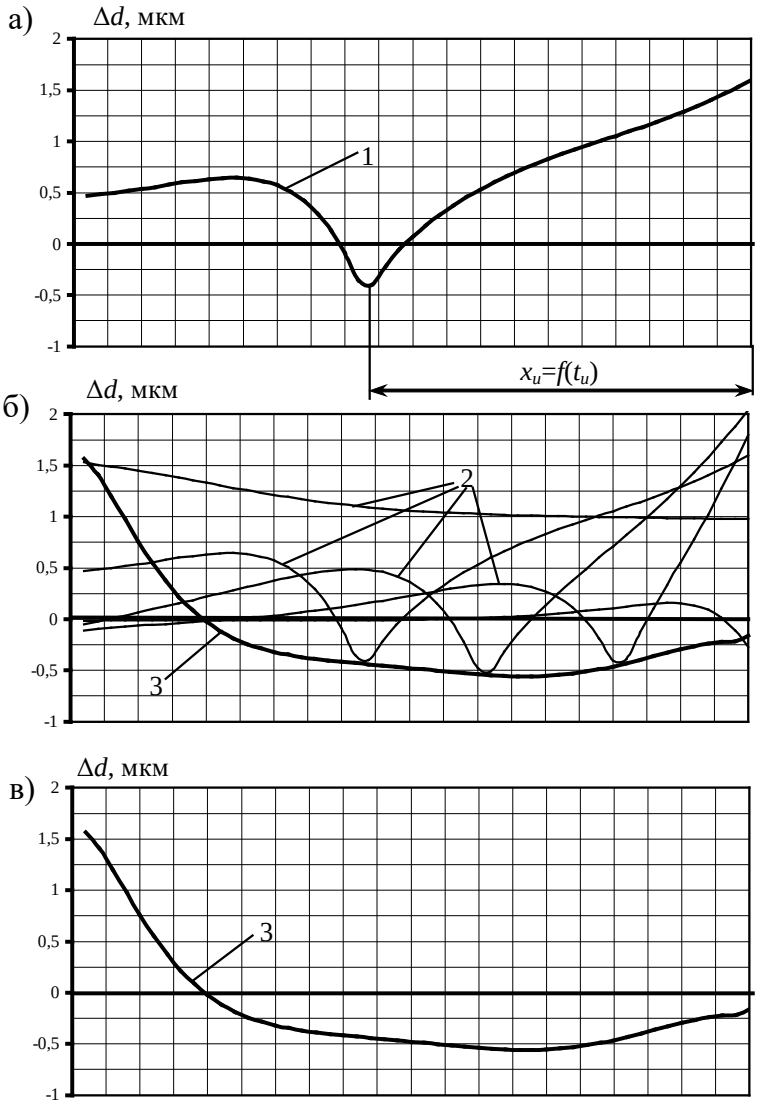


Рис.2. Механизм построения диаграммы $\Delta d(x_u,d/2,t_u)$: а) определение радиальных смещений 1 на поверхности отверстия в момент времени t_u; б) определение радиальные смещений 2 для n положений теплового источника и их огибающей 3; в) построение итоговой диаграммы радиальных смещений в зоне резания

Основным итоговым результатом для всех проведенных исследований являлась диаграмма изменения радиальных смещений поверхности отверстия в зоне резания $\Delta d(x_u,d/2,t_u)$. Поскольку эта диаграмма является нестандартной и учитывает изменение процесса в пространстве и во времени, следует подробней остановиться на порядке и особенностях ее построения.

Как указывалось выше, одной из основных проблем моделируемого процесса является совпадение зоны максимальных температурных деформаций с зоной резания. В результате, если радиальные смещения детали направлены внутрь отверстия, в процессе резания срезается дополнительный объем материала и после окончания обработки и остывания детали отверстие оказывается разбитым. Если радиальные смещения направлены вглубь детали, уменьшается объем срезаемого материала и после окончания обработки отверстие оказывается усаженным. Таким образом, на каждом этапе теплового нагружения величина радиального смещения характеризует форму продольного сечения в точке нагружения.

Диаграмма радиальных смещений $\Delta d(x_u,d/2,t_u)$ строилась в следующей последовательности: 1) Определялась форма продольного профиля отверстия для

каждого положения теплового источника; 2) Объединялись все продольные профили на одной схеме; 3) Строилась огибающая диаграмма по максимальным значениям радиальных смещений. Поскольку координаты теплового источника и максимальных температурных деформаций всегда совпадали, для построения диаграммы в закрытом вычислительном модуле оказывается достаточно для каждого этапа теплового нагружения определять только радиальные смещения в точке приложения теплового источника.

Таким образом, полученная диаграмма отражает форму половины продольного профиля отверстия после окончания обработки. Деформация второй половины будет зеркальной. Сложенные две половины будут характерную бочкообразную форму.

Выводы. Конечно, на изменение продольного профиля отверстия будут оказывать влияние и другие факторы – температурные деформации инструмента, упругие деформации инструмента и детали и другие. Однако все они имеют более или менее линейный характер, и лишь температурные деформации детали имеют ярко выраженную нелинейность. Поэтому на основании проведенных исследований автором было выдвинуто положение о том, что причиной образования бочкообразной формы продольного профиля отверстия являются именно температурные деформации детали в зоне резания.

Кроме этого в ходе исследования автором было установлено:

1) Диаграмма $\Delta d(x_u, d/2, t_u)$ имеет бочкообразную форму для всех рассмотренных условий чистовой обработки отверстий, независимо от параметров режимов резания, геометрии детали и инструмента и других параметров;

2) Радиальные смещения поверхности внутрь отверстия более характерны для обработки отверстий в массивных деталях. Это объяснятся локальностью зоны нагрева ее стесненным положением в общем объеме детали. При обработке отверстий в тонкостенных деталях подобный эффект не наблюдается, однако бочкообразная форма сохраняется;

3) Существенные искажения продольного профиля в начале и конце отверстия объясняются краевыми эффектами в этой зоне и повышением температуры за счет отраженных тепловых волн.

Список литературы: 1. Резников А.Н., Яценко Л.Е. Термоупругие деформации изделия и инструмента в процессе развертывания / Теплофизика технологических процессов. Межвед. науч. сб. – Вып.1. – Саратов: Изд. Саратовского университета, 1973. – С.24–35. **2.** Татьянченко А.Г. Влияние термоупругих деформаций на точность продольного профиля отверстия при чистовой лезвийной обработке / Наукові праці Донецького технічного університету. Серія: Машинобудування і машинознавство. Вип.110. – Донецьк: ДонНТУ, 2006. – С.42-48. **3.** Татьянченко А.Г., Малышко И.А., Сурженко А.Н. Развитие методов прогнозирования продольного профиля отверстия при чистовой обработке осевым инструментом / Сборник научных работ ДонНТУ. Серия «Машиностроение». Выпуск 10. – Донецк, 2013. – С.47-54. **4.** Татьянченко А.Г., Брижан Т.М. Особенности развития термоупругих деформаций детали при чистовой обработке отверстий / Надійність інструменту та оптимізація технологічних систем. (Зб. наук. праць.) – Краматорськ: ДДМА, 2010. – вип. 27. – С. 96-101. **5**. Татьянченко А.Г. Влияние термоупругих деформаций тонкостенных деталей на точность обработки отверстий / Надійність інструменту та оптимізація технологічних систем. (Зб. наук. праць.) – Краматорськ: ДДМА, 2010. – вип. 27. – С. 74-78.

МОДЕРНИЗАЦИЯ УСТАНОВОК НАНЕСЕНИЯ ПОКРЫТИЙ В ВАКУУМЕ

Токарев А.С. *(ФГБОУ ВО "БГТУ", г.Брянск, РФ)*
тел.: +7 962 140 11 95, mail: master_32@bk.ru

Abstract: *The purpose of the study is to establish the possibility of modernizing existing vacuum deposition units without compromising the quality of the resulting coatings. The possibility of modernization is shown not only as part of replacing old components with new ones, but also changing the principle of operation of subsystems, as well as integrated automation. The scientific novelty of the work lies in an integrated approach to the modernization of plants of the selected type, in which almost all subsystems are modernized, and the creation of a common automatic control system allows the various subsystems to interact as a whole, which makes it possible to control more process parameters. As a result, it became possible to qualitatively improve the process of maintaining the vacuum, which positively affected the quality of the applied coating.*
Keywords: *vacuum deposition, integrated automation, common automatic control system, quality of the coating.*

Современные технологии требуют современного подхода и современного оборудования. Так и оборудование, обеспечивающее нанесение покрытий в вакууме, несмотря на относительную молодость самой технологии, требует модернизации. А в свете ускоренного развития технологий автоматизации, в первую очередь модернизации подлежит именно система автоматизации установок нанесения покрытий в вакууме.

Одним из существенных недостатков используемых на промышленных предприятиях установок вакуумного напыления (далее УВН), является их моральное устаревание. Подавляющее большинство подобных установок, как отечественного, так и импортного производства, эксплуатируемых в данный момент на производстве в России, были созданы ещё в 70-80 годах прошлого столетия и на текущий момент морально и физически устарели. Приобретение современных импортных установок зачастую нерентабельно и экономически невыгодно, тем более, что большая часть процессов, проводимая в установках старого типа, со слов операторов и технологов ряда производств, не может быть полностью воспроизведена в новых установках. Проводимая в большинстве случаев модернизация установок затрагивает зачастую только общую систему контроля основных параметров, никак не улучшая истинных характеристик установки. Заменяются отдельные модули, хотя для более полной модернизации порой требуется пересмотреть структуру каждой подсистемы целиком.

Рассмотрим возможность комплексной модернизации установок данного типа на примере установки нанесения покрытия в вакууме резистивным методом типа УВН-71 и её функциональных аналогов. В современном производстве данные установки используются, в основном, в производстве микроэлектроники, позволяя производить, например, микросхемы двойного назначения или фотоэлектрические преобразователи для современных солнечных модулей. В основе данной установки лежит вакуумная камера, выполненная в виде колпака, закреплённого на механическом или гидравлическом подъёмнике. Под колпаком находится карусельный механизм, благодаря которому происходит движение подложек (основ для нанесения покрытия) внутри камеры. Подложки могут располагаться на карусели как в горизонтальном, так и в вертикальном состоянии, в зависимости от выбранного метода напыления. В большинстве установок карусель с горизонтальным куполовидным сводом, подложки расположены под небольшим углом к горизонтали в специальных ложементах в куполе. Внизу колпака находится неподвижная часть камеры – столик. На столике установлены изолированные друг от друга токовводы, на которых попарно закреплены лодочки, выполненные из тугоплавкого материала (молибден или вольфрам). При протекании через них электрического тока лодочки нагреваются до высокой температуры и кусочки материала (как правило, легкоплавкие металлы) плавятся. Рас-

плавленный металл в вакууме начинает испаряться и равномерно заполнять камеру. Подложки, расположенные на своде купола подогреваются до необходимой температуры, при которой происходит оптимальное осаждение покрытия на них. В результате происходит пассивный перенос материала из лодочек на поверхность подложек.

Процесс испарения и нанесения покрытия в резистивных установках прост и достаточно хорошо повторяем, однако для отличной повторяемости необходимо поддерживать высокий вакуум внутри установки. Даже небольшое падение уровня вакуума влечёт за собой сильное снижение испарения расплавленного вещества, что значительно уменьшает скорость нанесения покрытия и, как следствие, ухудшает повторяемость процесса. В подобных установках устанавливаются системы контроля толщины наносимого покрытия, но, как правило, данные системы имеют сменный элемент (кварцевый резонатор, стекло, керамическая пластина свидетеля), ресурса которого хватает на один или небольшое число процессов. После этого сменный элемент либо утилизируется, либо восстанавливается сложным физико-химическим методом. В реальном серийном производстве, где количество процессов в единицу времени велико, зачастую наблюдается дефицит расходных (сменных) элементов, и процесс ведётся по косвенным параметрам (времени, току, температуре). При проведении таких процессов повторяемость крайне важна.

Рассмотрим возможность глубокой модернизации на примере вакуумной системы. Именно от качества всех составляющих частей вакуумной системы и их рациональной работы зависит качество создаваемого в камере установки вакуума. Практически все известные нам установки вакуумного напыления старого образца имеют откачную систему, построенную на классическом принципе двухнасосной системы: один форвакуумный насос, один высоковакуумный. В неизменённых модификациях производства 70-80 годов прошлого века устанавливались форвакуумный пластинчато-роторный насос и диффузионный (паромасляный) насос, на входе которого устанавливались дополнительно высоковакуумный затвор и азотная ловушка для недопущения попадания паров масла в камеру. Такая система имела ряд недостатков, требовала постоянного обслуживания и наличие большого объёма расходных материалов: жидкий азот, вакуумное масло и пр.

В современных модификациях такую связку насосов заменяют на сухой спиральный насос или двухступенчатый насос Рутса, и турбомолекулярный высоковакуумный насос. Такая замена избавляет от необходимости частого обслуживания и использования расходных материалов, но имеет и отдельный существенный недостаток: для разгона турбомолекулярного насоса нужно время, в течение которого, зачастую, сухой форвакуумный насос, производительность которого значительно меньше, чем у его маслозаполненного аналога, работает исключительно на откачку высоковакуумного насоса. При этом камера может находиться под остаточным вакуумом после откачки форвакуумным насосом, а, в случае достаточно сильного гажения находящихся там материалов, при открывании высоковакуумного затвора на турбомолекулярный насос может поступить давление, превышающее допустимое рабочее, что зачастую приводит к аварийному режиму работы насосной группы.

Решить данную проблему поможет применение в подобных установках трёхнасосной системы: два форвакуумных и один высоковакуумный насос. Один из форвакуумных насосов в данной связке постоянно работает, откачивая камеру, а второй имеет возможность переключения и, в зависимости от стадии откачки, может как откачивать камеру, так и откачивать высоковакуумный насос, позволяя ему быстрее запуститься. Данная система способна практически полностью исключить аварийную ситуацию, связанную с натеканием газа из материалов, находящихся в камере. При этом производительность форвакуумной части также увеличивается за счёт применения двух насосов вместо одного.

Отдельного внимания заслуживают датчики вакуума. Изначально в подобных установках в качестве вакуумных датчиков использовались лампы ПМТ-2, ПМТ-4М,

ПМИ-2, а в качестве вакуумметров использовались чаще всего старые стрелочные приборы типа ВИТ-2. Точность измерения вакуума была соответственно низкая. В современных вакуумных системах целесообразнее всего использовать электронные вакуумметры, а в качестве первичных преобразователей – вакуумные датчики Пирани и инверсно-магнетронные ионизационные датчики Пеннинга. такие приборы в данный момент являются наиболее современными и относительно недорогими. В то же время их ресурса работы и точности измерения вполне достаточно для контроля за уровнем вакуума в течение процесса вакуумного нанесения покрытий.

К запорной арматуре и вакуумным трубопроводам, в том числе компенсационным сильфонам предъявляются те же требования, что и 40-50 лет назад: высокая герметичность, качество применяемых материалов, высокое быстродействие и надёжность работы. Большинство современных производителей вакуумной запорной арматуры обеспечивают в рамках своей продукции все эти требования.

Особое внимание стоит обратить на наличие статических сеток перед фланцами датчиков и высоковакуумного затвора, так как напыляемый материал в отсутствие таких защитных устройств может осаждаться на рабочих поверхностях вакуумных датчиков и лопастях турбомолекулярных насосов, применение подобных защитных устройств хоть и несколько снижает точность показаний датчиков и скорость откачки в области высокого вакуума, но является обязательным для предотвращения преждевременного выхода из строя компонентов вакуумной системы.

В случае применения диффузионных высоковакуумных насосов значительно снижается стоимость модернизации системы, но возникает необходимость дооснащения криогенной ловушки криокулером. Это позволяет избавиться от использования жидкого азота в качестве основного расходного материала. Хотя современные криокулеры до сих пор являются дорогим удовольствием, их применение в паре с диффузионным насосом обходится дешевле, чем применение турбомолекулярного насоса вкупе со всеми необходимыми для его работы защитами.

Исходя из всего вышесказанного, можно сформировать современную и недорогую вакуумную систему, достаточную для надёжной работы большинства установок вакуумного нанесения покрытий: два форвакуумных пластинчато-роторных насоса, один диффузионный насос, ловушка с криокулером, вакуумные датчики Пирани и датчики Пеннинга, запорная арматура со встроенными электро- или пневмоприводами, всё это подключено к централизованной системе управления на основе современных промышленных контроллеров последнего поколения.

Установки вакуумного нанесения покрытий, построенные на базе подобных принципов, в данный момент разрабатываются и производятся в Брянске, на современном предприятии ООО "НПО "ГКМП", в рамках национального проекта по техническому перевооружению стратегически значимых промышленных предприятий. И, хотя в данный момент оснащённость современными установками большинства предприятий недостаточно высокая, уже сейчас видится необходимость реорганизации производства ряда предприятий электронной, авиакосмической и атомной промышленности, в рамках замены морально и физически устаревших установок вакуумного напыления новыми, модернизированными и автоматизированными.

Список литературы: 1. Иванов В.И. Вакуумная техника: Учеб. пособие. СПб.: Университет ИТМО, 2016. – 129 с. **2.** Свичкарь Е.В., Никулин Н.К., Демихов К.Е. Методика расчёта откачной характеристики высоковакуумной системы с турбомолекулярным вакуумным насосом./ Статья. Омск: Омский научный вестник, том 2, 2018. – с. 65–71. **3.** Юрьева А.В. Расчёт вакуумных систем: учебное пособие/ А.В. Юрьева; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2012. – 114 с.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ОБРАЗОВАНИЯ КРИТИЧЕСКОЙ ГЛУБИНЫ РЕЗАНИЯ ПРИ СУПЕРФИНИШНОЙ ОБРАБОТКЕ

Тюрин А.Н., Тюрин Н.А. (*ЗКИТУ, г. Уральск, Республика Казахстан)*
Тел. 8 777 563 46 17, E-mail:turin56@mail.ru

Abstract: *When modeling the process of superfinishing, it is important to find the total energy of the slices that the abrasive grains spend in one stroke of the tool, and to connect it with the main indicators of the process - metal removal and surface roughness.*
Key words: *superfinishing, abrasive grains, cutting energy, process modeling*

В процессе суперфиниширования осуществляется массовое воздействие абразивных зерен на обрабатываемую поверхность, в результате которого с поверхности заготовки удаляется определенный слой металла. Суперфинишное оборудование – сложные динамические системы, работающие в условиях изменяющихся внешних воздействий, обусловленных многочисленными и разнообразными факторами.

Этот процесс сдерживается засаливанием рабочей поверхности инструмента, так как часть энергии, затрачиваемой на суперфиниширование, расходуется на трение стружки об обрабатываемую поверхность. С другой стороны, под действием усилий резания абразивные зерна инструмента выпадают из связки, в результате чего осуществляется его износ, а рабочая поверхность инструмента очищается от стружки и шлама. Часть энергии затрачивается на пластическую деформацию металла заготовки, но эта доля невелика, так как при работе инструмента в режиме самозатачивания размерный износ самих абразивных зерен практически отсутствует и их режущие кромки сохраняются острыми.

Условно можно считать, что полезной энергией резания является только энергия образования микросрезов, так как только эта часть затраченной энергии приводит к удалению припуска с обрабатываемой поверхности. Это было бы так, если бы единственной задачей процесса суперфиниширования являлось удаление дефектного слоя, возникающего на предварительных операция шлифования заготовки. Но так как не менее важной задачей является резкое снижение шероховатости поверхности заготовки, то энергию трения стружки и шлама о поверхность заготовки тоже можно отнести к полезной энергии. Из практики известно, что без обеспечения существенного засаливания рабочей поверхности инструмента при суперфинишировании невозможно получить низкий уровень шероховатости обработанной поверхности. В этом состоит одно из противоречий процесса суперфиниширования – чем меньше засаливание абразивного инструмента, и следовательно, меньше трения между поверхностями заготовки и инструмента, тем интенсивнее идет съем припуска и выше шероховатость обработанной поверхности, и наоборот, чем выше засаливание инструмента, тем меньше съем, но ниже микронеровности поверхности заготовки. На практике это противоречие разрешается тем, что на первой стадии процесса обработки обеспечиваются условия для наиболее интенсивного удаления припуска, а на второй стадии – условия для обеспечения засаливания инструмента и снижения шероховатости обработанной поверхности.

Процесс массового микрорезания при суперфинишировании проводит к изменению состояния поверхности заготовки и рабочей поверхности абразивного инструмента. Энергия массового образования микросрезов – это, по сути, энергия удаления припуска с поверхности заготовки:

$$U_t = U_{mm}$$

где U_{mm} - энергия образования микросрезов, Дж.

Но так как под действием сил резания осуществляется деформация мостиков связки инструмента, то энергия массового образования микросрезов и энергия пластической деформации поверхности заготовки равна энергии деформации абразивных зерен в связке инструмента:

$$U_{ib} = U_{mm} + U_{pd},$$

где U_{pd} - энергия, затрачиваемая на пластическую деформацию абразивными зернами поверхности заготовки, Дж.

Из представленных выше равенств следует, что энергия удаления припуска с поверхности заготовки и энергия деформации абразивных зерен в связке рабочей поверхности абразивного инструмента отличаются между собой только на величину энергии, затрачиваемой на пластическую деформацию обрабатываемого материала. Следовательно, они связаны между собой зависимостью:

$$U_t = K_u \cdot U_{ib}, \quad (1)$$

где K_u - коэффициент пропорциональности, учитывающий пластическое оттеснение металла по краям царапин от абразивных зерен.

Это важное соотношение, так как позволяет определить основные параметры процесса суперфиниширования с учетом фактических условий его осуществления.

При моделировании процесса суперфиниширования важно найти общую энергию срезов, которую затрачивают абразивные зерна за один ход инструмента, и связать ее с основными показателями процесса – съемом металла и шероховатостью получаемой поверхности.

Приравнивая правые части равенства, определяющего критическую силу удержания зерна связкой, и равенства , определяющего силу резания единичным зерном, найдем:

$$\sigma_{sr} \cdot d_o^2 \cdot k_{st} \cdot k_{sp} = 34 \cdot \tau_s \cdot a^2 \cdot (1 + 1{,}5 \cdot \mu \cdot (1 + \xi)). \quad (2)$$

Для получения минимального значения критической глубины резания в равенстве (2) следует использовать наименьшее значение k_{sp}, равное 0,081. Из равенства (2) получим:

$$a_k = 0{,}17 \cdot d_o \cdot \sqrt{\frac{\sigma_{sr} \cdot k_{sp} \cdot k_{st}}{\tau_s \cdot (1 + 1{,}5 \cdot f \cdot (1 + \xi))}}. \quad (3)$$

Как видно из выражения (3), данная расчетная зависимость далеко не так просто определяет критическую глубину резания, как ранее предлагаемые зависимости.

Рассматривая функционирование суперфинишного автомата в целом, и процесс микрорезания абразивными зернами удобно рассматривать как реакцию на входные внешние возмущения и управляющие воздействия. Поэтому наиболее общей расчетной схемой (моделью) процесса микрорезания является схема по принципу вход – выход. В такой схеме анализ, синтез и оптимизация процесса осуществляются на основе связей между входными и выходными переменными, а также по динамике прохождения и преобразования переменных. В качестве входных принимают все внешние возмущения (условия функционирования) и управляющие воздействия (со стороны станочника или управляющих устройств), а выходных – совокупность параметров, которые определяют

качество процесса резания, энергетические и технико-экономические его показатели, прочностные свойства и т.д.

Как отмечалось выше критическая глубина резания, при которой зерна выпадают из связки, очень сложно зависит и от свойств абразивного инструмента: зернистости d_o, прочности связки σ_{sr}, от структуры и твердости инструмента, определяемых коэффициентом k_{st}, от расстояния зерна от уровня связки k_{sp}, а также от параметров срезов и условий обработки, в том числе от напряжения среза τ_s, от усадки стружки ξ и от коэффициента трения зерна по обрабатываемой поверхности f. Исходя из этого процесс микрорезания с точки зрения обеспечения критической глубины резания можно представить в виде модели процесса представленной на рис. 1.

В качестве входных параметров модели критической глубины резания приняты сила резания P_y и расстояние зерна от уровня связки - k_{sp}, управляющие воздействия коэффициент трения f, размер абразивного зерна - d_o, параметры внутренних связей прочность связки σ_{sr}, напряжение среза – τ_s, усадка стружки - ξ, коэффициент структуры и твердости инструмента - k_{sr}, в качестве выходного параметра принята критическая глубина резания - a_k .

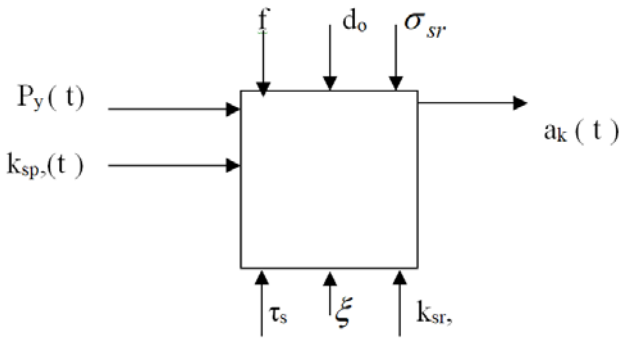


Рис. 1. Модель процесса образования критической глубины резания при суперфинишной обработке

Список литературы: 1. Королев А.В. Исследование процессов образования поверхностей инструмента и детали при абразивной обработке. – Саратов:, Саратовский государственный технический университет, 1975. – С192. **2**. Редько С.Г. Процессы теплообразования при шлифовании металлов. – Саратов: Изд-во Сарат. Ун-та, 1962,-299 с**. 3**. Корчак С.Н. Производительность процесса шлифования стальных деталей. – М.: Машиностроение, 1974.-280 с**. 4**. Филимонов Л.Н. Высокоскоростное шлифование. - Л.: Машиностроение Ленинградское отделение, 1973. – 136 с**. 5**. Островский В.И. Теоретические основы процесса шлифования.-Л.: Изд-во ЛГУ, 1981.-144 с. **6**. Ефимов В.В. Модель процесса шлифования с применением СОЖ.-Саратов: Изд-во Сарат. Ун-та.-1992.-132 с. **7**. Peklenik J. Ermittlung von geometrischen und physikalischtn kenn groben fur die Grundlagenforschung des Schleifens//Dissertation, TH. Aachen.-1957/ 250 s. **8.** Pahlitzsch A. Sellbaterregte Schwingungtn als Ursache des Ratterns beim Schleifen/A. Pahlitzsch, E.O. Sathyanarayanar//Trans. ASME J. Rng. Ind. – 1957. 250 s. **9**. Унянин А.Н. Научное и технологическое обеспечение шлифования заготовок из пластичных талей и сплавов с предотвращением засаливания абразивных кругов: Дис.. д.т.н.-Ульяновск, 2006.-537 с. **10**. Патент № 1706134 (РФ). Способ чистовой обработки абразивными брусками / А.В. Королев, А.М. Чистяков, О.Ю. Давиденко // Бюл. Изобр. 1991.-№5. **11**. Королев А.В., Чистяков А.М., Давиденко О.Ю. Новые прогрессивные технологии машиностроительного производства. Ч.3. Технология многобрускового формообразующего суперфиниширования с локализацией контакта инструмента и обрабатываемой поверхности. – Саратов: Сарат. гос. Техн. Ун-т, 1997. - 152 с.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНО-АНАЛИТИЧЕСКИЙ МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ШЕРОХОВАТОСТИ ПРИ ТОЧЕНИИ С УЧЕТОМ КОЛЕБАНИЙ

Федоров В. П., Нагоркин М. Н., Кельнер А. А. *(БГТУ, г. Брянск, Россия)*
тел.:+7(960)552-61-25; E-mail: fedorvlad44@mail.ru; nagorkin_mn@mail.ru

Abstract: *The theoretical approach to calculating the surface roughness parameters obtained by processing in a technological turning system with allowance for fluctuations is considered. This takes into account geometric, kinematic and other aspects that affect the formation of microroughnesses of the treated surface.*
Key words: *roughness profile, turning, tool vibrations, simulation modelling.*

В схеме экспресс-диагностики технологических систем (ЭДТС) по надежности обеспечения параметров качества поверхностного слоя (ПКПС) обрабатываемых деталей [1, 2 и др.] можно выделить два этапа: построение и анализ имитационных моделей для ТС и расчёт её параметрической надёжности. При решении этой актуальной задачи необходимо располагать величинами ПКПС, которые можно получить экспериментально, обработав и измерив партию образцов в выбранной области факторного пространства диагностируемой ТС, а можно их определить теоретически, используя результаты диагностики технического состояния ТС в текущий период эксплуатации. Этот путь более экономичный, так как не требует дополнительных материальных и временных затрат. Этому направлению посвящены исследования, некоторые результаты которых излагаются ниже.

Для диагностики широко распространенных технологических систем (ТС) тонкого и чистового точения разработан экспериментально-аналитический метод определения параметров шероховатости поверхности при точении с учетом колебаний. Он базируется на кинематических соотношениях процесса точения, геометрии режущего инструмента и на результатах спектрального анализа исследуемой ТС точения. Сущность метода заключается в построении по результатам экспериментальных данных статистических моделей (1) формирования параметров шероховатости с учетом происходящих в процессе резания физических явлений с учетом влияния колебаний в ТС резания и дальнейшего определения вероятностных характеристик процесса формирования параметров шероховатости методами имитационного моделирования [3]:

$$Y_i = b_0 \cdot X_1^{b_1} \cdot X_2^{b_2} \cdot \ldots \cdot X_k^{b_k}, \qquad (1)$$

где Y_i – i-й параметр шероховатости поверхности после обработки; X_k – k-й фактор условий обработки детали; b_0, b_1, …, b_k – значения коэффициентов регрессии, которые распределены по нормальному закону с математическим ожиданием $M\{b_k\}$ и средним квадратическим отклонением $S(b_k)$.

Известно, что основными технологическими факторами, обуславливающими формирование шероховатости при точении, являются: 1) кинематика движения и геометрия рабочей части инструмента относительно обрабатываемой поверхности; 2) колебания системы СПИД, которые приводят к колебаниям инструмента относительно обрабатываемой поверхности; 3) упругие и пластические деформации обрабатываемого материала в зоне контакта с инструментом при обработке; 4) параметры адгезионного взаимодействия инструмента с материалом обрабатываемой детали; 5) микронеровности рабочей части режущего инструмента.

В моделях (1) учитывается влияние первых двух факторов.

Моделирование получаемого при точении участка микропрофиля (рис. 1) производится на основании следующих исходных данных:

– длина участка l и шаг дискретизации профиля по оси OX;

– режимы обработки: частота вращения шпинделя n, подача инструмента за один

оборот детали S, глубина резания t;

– радиус при вершине резца r, главный φ и вспомогательный φ_1 углы в плане;

– параметры колебаний ТС: гармонические колебания q_x, q_y, в которых одновременно участвует резец по осям OX и OY; соответствующие амплитуды колебаний A_{xi}, A_{yi}; частоты колебаний f_{xi}, f_{yi}; начальные фазы колебаний ψ_{xi}, ψ_{yi}.

Для моделируемого участка микропрофиля (рис. 1) приняты следующие обозначения: m – количество микронеровностей; i, j – номер моделируемой точки и впадины профиля шероховатости; N – количество расчетных точек на моделируемом участке; X_i, Y_i – координаты i-той точки; X_j, Y_j – координаты низшей точки j-той впадины профиля, численно равные координатам вершины резца в момент формирования j-той впадины без учета колебаний в ТС; X_j^v, Y_j^v – то же с учетом колебаний; K_j – номер точки профиля, ближайшей к низшей точке j-той впадины; τ_j – момент времени формирования j-той впадины профиля шероховатости.

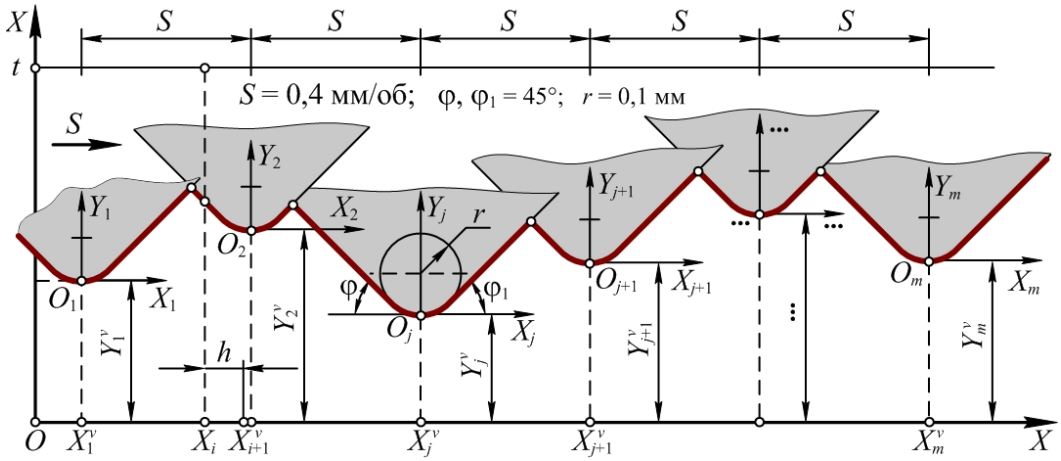


Рис.1. Модель формирования шероховатости при точении

Последовательность моделирования включает следующие процедуры:

1. Ординаты всех точек профиля моделируемого участка принимаются равными t;

2. Рассчитываются координаты вершины резца на j-том обороте детали с учетом совершаемых им колебаний (в момент времени τ_j):

$$\overline{X}_j = S\,j\;;\;\; \tau_j = \overline{X}_j / Y_X\;;\;\; X_j^v = \overline{X}_j + \Delta_X\;;\;\; Y_j^v = \Delta_Y\,. \qquad (2)$$

Здесь Y_X – скорость движения подачи токарного инструмента; Δ_Y – приращения координат вершины резца при участии последней в нескольких гармонических колебаниях вдоль соответствующих осей.

3. Определяются ординаты точек формирующегося профиля шероховатости как наименьшие из двух значений – предыдущего значения ординаты Y_i и ординаты точки режущей кромки резца с такой же абсциссой C_i:

$$Y_i = \min\,(Y_i,\, C_i);\; C_i = Y_{\text{резец}}(X_i,), \qquad (3)$$

где $Y_{\text{резец}}(X_i)$ – ордината точки режущей кромки резца в зависимости от абсциссы X_i и параметров r, φ, φ_1.

4. Процедуры 2, 3 повторяются для значений $j = -3, -2, \ldots, (m + 2)$. Расширение диапазона j в сторону отрицательных значений обусловлено возможностью пересечения режущей кромки резца с участком профиля, удаленным от вершины на расстояние до $3S$.

5. Дискретное представление профиля в виде массива ординат Y_i ($i = 1, \ldots, N$) равноотстоящих точек по оси OX сохраняется для дальнейшей программной обработки.

Практическая реализация изложенного алгоритма осложняется необходимостью

задания параметров колебаний (Δ_X; $Y_{\text{резец}}(X_i)$) в исследуемой ТС. Аналитические методы расчета параметров колебаний достаточно сложны, что объясняется их зависимостью от большого количества, в том числе случайных, факторов. Учитывая, что колебания в ТС объективно отражаются на геометрических характеристиках профиля шероховатости обработанной поверхности, предлагается метод, позволяющий по профилограмме поверхности, полученной тонким точением в результате пробного прохода в конкретных условиях реальной ТС, оценить параметры колебаний ТС.

В процессе тонкого точения в ТС могут протекать несколько колебательных процессов инструмента по различным осям. Предлагаемый метод позволяет оценить влияние параметров колебаний по оси *OY*, так как именно они отличаются наибольшим влиянием на процесс формирования параметров шероховатости.

Длина l участка анализируемой профилограммы должна быть больше базовой длины $l_б$ и содержать количество выступов и впадин $N = 2m + 1$ ($m = 1, 2, 3...$).

Глубину i-той впадины и высоту j-того выступа профиля шероховатости можно представить как сумму составляющих от шероховатости и волнистости:

$$Y_i^v = R_i^v + W_i^v;\ Y_i^p = R_i^p + W_i^p, \tag{4}$$

где R_i^v, R_i^p – составляющие глубины i-той впадины и высоты i-того выступа профиля шероховатости; W_i^v, W_i^p – составляющие глубины i-той впадины и высоты i -того выступа профиля волнистости.

С использованием теории рядов Фурье для величин, входящих в (4), получены выражения типа:

$$R_i^v = A_0^v + \sum_{k=m'+1}^{m} A_k^v \cos(2\pi k_i / N - \psi_k^v),\ \ R_i^p = A_0^p + \sum_{k=m'+1}^{m} A_k^p \cos(2\pi k_i / N - \psi_k^p), \tag{5}$$

$$W_i^v = \sum_{k=1}^{m'} A_k^v \cos(2\pi k_i / N - \psi_k^v),\ \ W_i^p = \sum_{k=1}^{m'} A_k^p \cos(2\pi k_i / N - \psi_k^p), \tag{6}$$

Здесь $m' = 2l_б / l$. Величины A_k^v, A_k^p, ψ_k^v, ψ_k^p определяются по результатам спектрального анализа профилограммы с учетом случайности фазовых сдвигов между гармониками ψ_k^v и ψ_k^p. Допуская, как результат воздействия большого числа случайных возмущающих факторов независимость хотя бы части простых колебаний, которые совершает инструмент, можно считать, что фазовые сдвиги между гармониками ψ_k^v и ψ_k^p, входящие в произвольный момент времени есть случайные равномерно распределенные в интервале $[0; 2\pi]$ величины. Величины R_i^v, R_i^p, определяемые выражениями типа (5), представляют собой нормально распределенные величины с параметрами:

$$a^v = M\{ R_i^v \} = M\{ A_0^v + Y_i^v \} = A_0^v;\ (\sigma^v)^2 = D\{ R_i^v \} = D\{ A_0^v + Y_i^v \} = 0{,}5 \sum_{m'+1}^{m} (A_k^v)^2, \tag{7}$$

$$a^p = M\{ R_i^p \} = M\{ A_0^p + Y_i^p \} = A_0^p;\ (\sigma^p)^2 = D\{ R_i^p \} = D\{ A_0^p + Y_i^p \} = 0{,}5 \sum_{m'+1}^{m} (A_k^p)^2, \tag{8}$$

Практически интерес представляет оценка законов распределения параметров шероховатости *Rv*, *Rp* и *Rmax* по результатам анализа профилограммы поверхности. Величины *Rv* и *Rp* определяются, соответственно, как глубина наиболее глубокой впадины и высота наиболее высокого выступа на длине оценки:

$$Rv = \min\{ R_j^v \},\ j = 1, \ldots, N;\ Rp = \max\{ R_i^p \},\ i = 1, \ldots, N. \tag{9}$$

$$Rmax = Rp + |Rv| = \max\{ R_i^p + | R_j^v | \}. \quad (10)$$

Случайная величина ($R_i^p + | R_j^v |$) имеет нормальный закон распределения с параметрами:

$$a^m = M\{Rmax\} = A_0^p + | A_0^v |, (\sigma^m)^2 = D\{Rmax\} = 0{,}5 \sum_{m'+1}^{m} \left((A_k^p)^2 + (A_k^v)^2 \right), \quad (11)$$

Установлено, что величины *Rv, Rp* и *Rmax* распределены по закону, функция и плотность которого имеют вид:

$$G(z) = [\Phi(t)]^N , g(z) = N\varphi(t)[\Phi(t)]^{N-1}, \quad (12)$$

где $\Phi(t)$ и $\varphi(t)$ – функция и плотность нормального распределения, а параметр t вычисляется по зависимости $t = (z - a) / \sigma$.

При оценке законов распределения параметров шероховатости *Rv, Rp* и *Rmax* в зависимость (12) вместо величин a, σ следует подставлять соответствующие значения a^v, σ^v, a^p, σ^p, a^m, σ^m.

Для оценки надёжности технологического обеспечения параметров шероховатости поверхностей деталей точением предлагается применять имитационное моделирование процесса их формирования, включающее учет как регулярной составляющей микропрофиля A_0^v и A_0^p, обусловленной кинематикой процесса обработки и геометрией режущего инструмента, так и случайной составляющей, обусловленной его колебаниями относительно обрабатываемой детали. Для получения численных оценок и параметров распределения параметров шероховатости (волнистости) необходимо произвести статистическая обработка результатов имитационного моделирования осуществляется с применением разработанной программы [3].

По результатам экспериментов были получены модели процесса формирования параметров шероховатости методом точения. Например, для параметра шероховатости *Ra* определена следующая зависимость:

$$Ra = 14{,}9 \frac{S^{1,91} \varphi^{0,03} \varphi_1^{0,15}}{r^{0,95}}, \text{ мкм.} \quad (13)$$

Следует еще раз подчеркнуть, что модель (13) и аналогичные ей модели для других параметров шероховатости получены теоретически без каких бы то ни было натурных экспериментов. Близость к единице (0,86 – 0,96) коэффициентов корреляции между параметрами, полученными экспериментальным и расчетным методами, свидетельствует о том, что разработанный экспериментально – аналитичебский метод определения параметров шероховатости удовлетворительно отражает характер процессов, происходящих при обработке и не противоречит экспериментальным данным.

Список литературы: 1. Fyodorov, V.P. Determination of parametric reliability of machining technological systems by simulation technique. / Fyodorov V.P., Nagorkin M.N., Totai A.V. / IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. 124 (2016) 012053. **2.** Технологическое обеспечение и повышение эксплуатационных свойств деталей и их соединений / А.Г. Суслов, В.П. Федоров, О.А. Горленко и др.; под общ. ред. А.Г. Суслова. – М.: Машиностроение, 2006. – 447 с. **3.** Нагоркин, М.Н. Параметрическая надёжность технологических систем лезвийной и упрочняющей обработки инструментами из синтетических сверхтвёрдых материалов по геометрическим параметрам качества и триботехническим характеристикам поверхностей деталей / М.Н. Нагоркин, В.П. Федоров, В.В. Нагоркина, Е.В. Ковалева // Прогрессивные машиностроительные технологии, оборудование и инструменты. Том VII. Коллективная монография / под ред. А.В. Киричека. – М. : Издательский дом «Спектр», 2016. – с. 506-688.

НАДЕЖНОСТЬ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ НОРМАЛЬНОЙ КОНТАКТНОЙ ЖЕСТКОСТИ ПЛОСКИХ СТЫКОВЫХ СОЕДИНЕНИЙ ПОВЕРХНОСТЕЙ ДЕТАЛЕЙ МАШИН ПРИ СТАТИЧЕСКИХ НАГРУЗКАХ

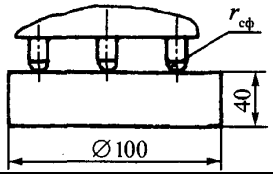
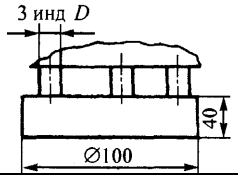
Федоров В. П., Нагоркин М. Н., Ковалева Е.В., Нагоркина Е.М.
(БГТУ, г. Брянск, Россия)
тел.:+7(960)552-61-25; E-mail: fedorvlad44@mail.ru; nagorkin_mn@mail.ru

Abstract: *The results of studies of the reliability of technological support of normal contact stiffness of flat butt joints of surfaces of machine parts made of steel and cast iron under static loads are presented. Data on the reliability of their technological support are provided.*
Key words: *contact stiffness, reliability, static load, modeling*

Контактная жёсткость плоских, цилиндрических и других соединений деталей во многом определяет надёжность технологических систем и оснастки по показателям точности, так как она определяет способность контактирующих поверхностных слоёв сопротивляться действию сил, стремящихся их деформировать. Через точность обработки и сборки контактная жёсткость сказывается на качестве машиностроительных изделий, в том числе на их надёжности.

Компьютеризированные системы измерения контактной жёсткости поверхностей предусматривают применение различных методик, в том числе нормализованной [1]. При использовании нормализованной методики контактную жёсткость одной плоской поверхности определяют, используя образцы из того же материала, что и реальные детали, а исследуемую поверхность образца диаметра 100 (табл. 1) обрабатывают при заданных условиях.

Таблица 1. Схемы и размеры образцов для проведения нормализованных испытаний поверхностей на контактную жёсткость плоских поверхностей деталей (фрагмент)

Вид контроля, форма рабочей поверхности и схема расположения инденторов	
Контактная жёсткость с учётом шероховатости поверхности	Контактная жёсткость с учётом шероховатости и волнистости поверхности
1а) Три индентора со сферическим основанием $p_i = \frac{P_i}{6\pi r_{сф} y_i}$ 	1б) Три индентора с плоским основанием $p_i = \frac{4P_i}{3\pi D^2}$ 

Такая схема не предусматривает непосредственного измерения контактной жесткости соединения двух или более поверхностей, т. е. в случаях, реально встречающихся на практике, а также в случае подвижных соединений. В связи с этим, исследования проводились на физических моделях реальных плоских стыков по следующей методике. Измерение контактных деформаций модели стыка 5 (рис. 1а), который образован поверхностями образцов 4 и 8, обработанных соответствующим технологическим методом, осуществляется с помощью датчиков сопротивления R_3 и R_4. Они клеятся на упругие элементы 7, установленные в корпусе 6.

Исследуемый модуль, состоящий из образцов 4, 8 и датчика 6 устанавливается между траверсой 10 и нагрузочным элементом в виде винта 2, приводимого в движение через редуктор 1. Во избежание внецентренного нагружения нагрузка на исследуемый

модуль передаётся через шарики 3. Траверса 10 имеет возможность перемещения в шариковых направляющих 9. Между траверсой и корпусом приспособления через шарики 13 устанавливается динамометр 12 с устройством 11 визуальной регистрации нагрузки. Для измерения прилагаемой нагрузки на упругой части динамометра наклеены проволочные датчики сопротивления R_1 и R_2.

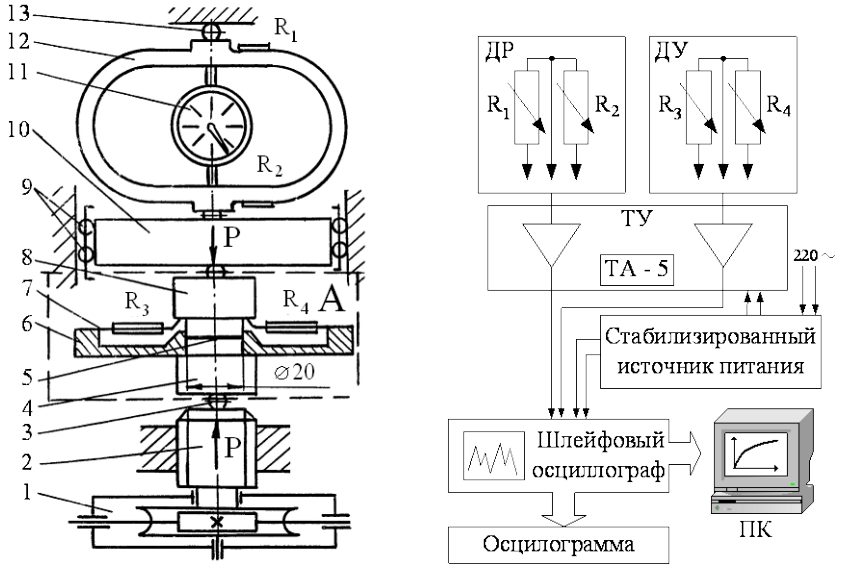


Рис. 1. Схема экспериментальной установки для исследования контактной податливости моделей плоских соединений деталей машин (а) и комплект контрольно-регистрирующей аппаратуры (б)

Комплект контрольно-регистрирующей аппаратуры включает тензометрический усилитель ТУ, к которому подключаются датчики нагрузки ДР и контактного сближения ДУ, и шлейфовый осциллограф, подключенные к источнику стабилизированного питания (рис. 1б). Результаты эксперимента аппроксимировались по следующему алгоритму.

Контактная податливость y и контактная жёсткость j стыка определяются уравнениями (1) и (2)

$$y = cp^m, \quad (1); \qquad j = p / y = cp^{1-m}. \quad (2)$$

Здесь p – удельная нагрузка, соответствующая приложенной силе P, которая определяется по формулам для конкретной схемы испытаний; c, m – коэффициенты параболической аппроксимации зависимости величины сближения от давления $y = f(p)$:

$$m = \frac{\ln y_2 - \ln y_1}{\ln p_2 - \ln p_1}, \quad (3); \qquad \ln C = \frac{\ln y_1 \ln p_2 - \ln y_2 \ln p_1}{\ln p_2 - \ln p_1}. \quad (4)$$

Прикладываемая нагрузка P_i и соответствующая величина сближения в стыке y_i измеряется и регистрируется в процессе эксперимента на установке (рис. 1).

Имитационные модели для параметров контактной жесткости поверхностей, после обработки методами накатывания шариком (НШ) и вибронакатыванием (ВН) имеют вид соответственно (5) и (6):

$$Y_i = b_0 Ra_{np}^{b_1} P^{b_2} V^{b_3} S_{np}^{b_4} n^{b_5}, \quad (5)$$

$$Y_i = b_0 Ra_{np}^{b_1} P^{b_2} S_{np}^{b_3} n^{b_4}. \quad (6)$$

где: Ra_{np} – шероховатость поверхности после предварительной обработки (для чугуна СЧ20 Ra_{np} = 0,5 – 2,4 мкм; для стали 40Х Ra_{np} = 0,45 – 1,65); P – сила воздействия ин-

дентора на поверхность при обработке ППД (для СЧ20 P = 200…400 Н; для 40Х P = 400…600 Н); V = 14 – 70 м/мин – скорость обработки ППД; $S_{пр}$ – продольная подача индентора (для НШ $S_{пр}$ = 13 – 42 мм/мин; для ВН $S_{пр}$ = 200 – 600 мм/мин); n – число проходов (1 – 3); b_0 и b_i – коэффициенты регрессии.

Исследовались параметры контактной жесткости соединений плоских поверхностей образцов из чугуна СЧ20 (НВ 195…210) и из стали 40Х (HRC 40). Контактирующие поверхности образцов обрабатывались накатыванием шариком из стали ШХ15 с использованием устройства упругого действия и вибронакатыванием после торцевого фрезерования по матрицам планирования активного эксперимента. Исследования проводились в диапазоне нагрузок $0 \le q \le 10$ МПа для поверхностей из чугуна и $0 \le q \le 30$ МПа для стальных поверхностей, что перекрывает диапазоны изменения эксплуатационных нагрузок технологического оборудования и оснастки.

Анализ результатов показал, что контактная податливость стыка от долей до десятков микрометров определяется как направлением следов обработки при контактировании, так и технологическими факторами, в частности методом и условиями обработки. Последнее существенно при расчетах точности технологической оснастки.

Результаты исследований контактной жесткости соединений поверхностей образцов из чугуна показывают (рис. 2), что величина $j_{ср}$ для чугуна изменяется в условиях эксперимента от 0,4 до 3,9 МПа/мкм. Для стальных образцов его величина значительно выше (от 1,5 до 10,9 МПа/мкм).

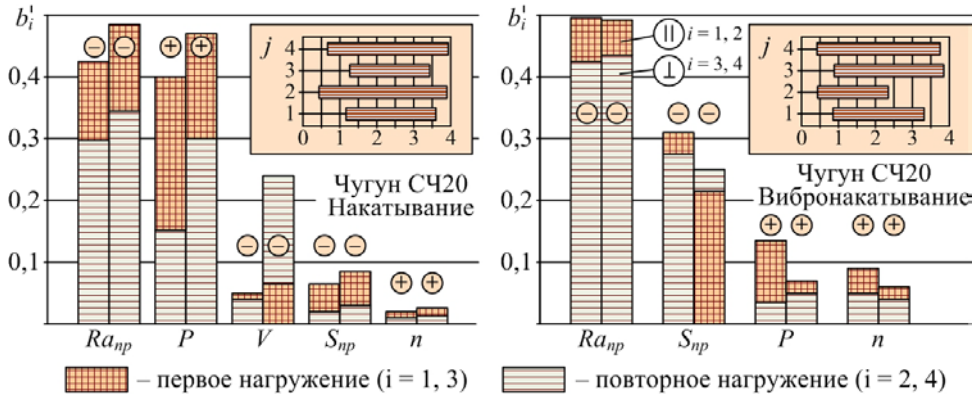


Рис. 1. Интервалы варьирования и диаграммы управления средним коэффициентом нормальной контактной жесткости для соединений поверхностей образцов из чугуна СЧ20

Величина $j_{ср}$ при повторных нагружениях выше, чем при первом, что согласуется с работами других авторов [2, 3 и др.]. При НШ управление величиной $j_{ср}$ наиболее эффективно вести за счет факторов $Ra_{пр}$ и P (рис. 2а). Такой же эффект характерен и при обработке ВН. Факт высокой эффективности управления за счет $Ra_{пр}$ объясняется влиянием технологической наследственности на контактную жесткость упрочняемых методами ППД поверхностей. Отмеченное имеет место и при исследовании контактной жесткости соединений плоских поверхностей стальных образцов.

Параметрическая надежность рассматриваемых технологических систем по характеристикам контактной жесткости определялась как вероятность выполнения задания по их обеспечению в заданном интервале δ (ГОСТ 27.004-85):

$$P_i(t) = P\{x_{нi} \le x_i(t) \le x_{вi}\} = P\{Y \in (\overline{Y} - \delta\overline{Y}\ ;\ \overline{Y} + \delta\overline{Y}\ )\}, \qquad (7)$$

где $x_i(t)$, $x_{вi}$, $x_{нi}$ – соответственно, фактическое, верхнее и нижнее допустимые значения i-го контролируемого параметра; $\overline{Y}$ – средняя величина регламентируемого параметра качества; δ – относительная допускаемая величина изменения параметра качества ($0 \le \delta$

≤ 1). Соответствующие вероятности P для параметров контактной жесткости Y_i исследуемых соединений в интервале ($Y_{i\,min}$, $Y_{i\,max}$) рассчитывались по зависимости [2]:

$$P\{Y_{i\,min} < Y_i < Y_{i\,max}\} = \Phi\left(\frac{Y_{i\max} - M\{\tilde{Y}_i\}}{S\{\tilde{Y}_i\}}\right) - \Phi\left(\frac{Y_{i\min} - M\{\tilde{Y}_i\}}{S\{\tilde{Y}_i\}}\right), \quad (8)$$

Величины математического ожидания ($M\{\tilde{Y}_i\}$) и среднеквадратического отклонения ($S\{\tilde{Y}_i\}$) определялись путем статистической обработки результатов машинных экспериментов над имитационными моделями типа (5) и (6).

$$M\{\ln Y_i\} = \ln b_0 + \sum_{i=1}^{k} b_i \ln X_i\,, \quad (9)$$

$$S^2\{\ln Y_i\} = \sum_{i=1}^{k} (S\{b_i\} \ln X_i)^2\,. \quad (10)$$

Некоторые типовые полученные результаты представлены на рис. 3.

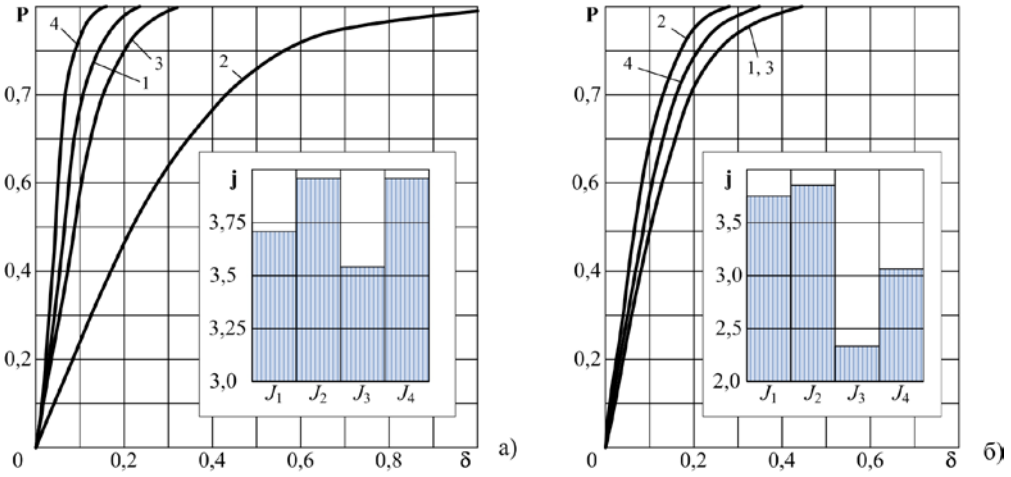


Рис. 3. Вероятности выполнения заданий при контактировании поверхностей из чугуна СЧ20 по параметру *Jmax* в интервале [$J \pm \delta\bar{J}$]: а – при накатывании шариком; б – при вибронакатывании

Анализ показывает, что с целью надежного обеспечения максимальной контактной жесткости в данном случае их следует обрабатывать НШ, при этом надежность обеспечения параметров $J_1 - J_4$ при $\delta = 0{,}2$ составляет от 0,45 до 1. При контактировании стальных поверхностей наибольший эффект дает ВН при параллельном и НШ при перпендикулярном расположении следов обработки в процессе контактирования.

Аналогичные результаты получены и для других упомянутых параметров контактной жесткости для соединений плоских поверхностей как из чугуна, так из стали.

Список литературы: 1. Технологическое обеспечение и повышение эксплуатационных свойств деталей и их соединений / А.Г. Суслов, В.П. Федоров, О.А. Горленко [и др.]; под общ. ред. А.Г. Суслова. – М.: Машиностроение. 2006. – 447 с.**. 2.** Нагоркин, М.Н. Параметрическая надёжность технологических систем лезвийной и упрочняющей обработки инструментами из синтетических сверхтвёрдых материалов по геометрическим параметрам качества и триботехническим характеристикам поверхностей деталей / М.Н. Нагоркин, В.П. Федоров, В.В. Нагоркина, Е.В. Ковалева // Прогрессивные машиностроительные технологии, оборудование и инструменты. Том VII. Коллективная монография / под ред. А.В. Киричека. – М. : Издательский дом «Спектр», 2016. – с. 506-688.

ВЛИЯНИЕ МОМЕНТА ЗАТЯЖКИ ВИНТОВ НА КОНТАКТНОЕ СБЛИЖЕНИЕ ПЛОСКОГО СТЫКА В ТЕХНОЛОГИЧЕСКОМ ОБОРУДОВАНИИ НА БАЗЕ УНИФИЦИРОВАННЫХ МОДУЛЕЙ

Федуков А.Г., Хандожко А.В., Польский Е.А.
(*ФГБОУ ВО «БГТУ», г. Брянск, Россия)*
Тел.: (4832) 58-82-89, E-mail: fedukov.lvdu@gmail.com

Abstract: *Using the example of a flat joint "Base plate - Guide rail", issues of ensuring and improving the accuracy of special technological equipment manufactured with the widespread use of unified modules were considered. The influence of the tightening torque of the screws during assembly and the contact area on the contact stiffness of the joint is studied.*

Key words: *accuracy, unified modules, ball-screw pair, linear guides, contact stiffness.*

На сегодняшний день при производстве технологического оборудования сложилась тенденция все больше использовать унифицированные узлы и модули. Станкостроение не исключение. Сейчас на рынке большое количество производителей различных модулей.

В связи с широким использованием унифицированных модулей возрастает число стыков, большей частью плоских. Это создает сложности в обеспечении жесткости узлов, возникают вопросы по обеспечению точности, надежности. Особенно это касается мехатронных модулей, которые состоят из большого числа контактирующих деталей. В большинстве случаев производитель в своих каталогах, паспортах или другой документации дает рекомендации по установке, сборке. Но при этом в этих рекомендациях не учитывается жесткость стыков.

Самым распространенным узлом в мехатронных модулях металлорежущих станков является линейная координата на основе шарико-винтовой пары (ШВП). На рисунке 1 представлено одно из конструктивных решений линейной координаты станка. Похожая компоновка была рассмотрена в работе [1].

Узел состоит из базовой плиты 1, на которой установлены линейные рельсовые направляющие 2. По рельсам перемещается на каретках 3 и проставках 4, стол 6. Движение происходит с помощью ШВП 5. Предварительные исследования показали, что при монтаже рельсовых направляющих и стола возникают деформации в стыках, величиной которых не всегда можно пренебречь. В нормативной документации рекомендаций по оценке величины этих деформаций, их учета нет. Существующие зависимости по расчету деформаций, например представленные в работе [2], разработаны для стыков ограниченного размера и для протяженного стыка «плита-рельс» требуют коррекции.

На базе данного узла для стыка «базовая плита – направляющий рельс» были проведены исследования по изучению контактной жёсткости. Эксперименты были направлены на изучения влияния контактных деформаций в зависимости от площади контакта и момента затяжки винтов.

Исследования проводились на специальном стенде. Стенд моделируется линейный модуль на базе рельсовых направляющих и ШВП. Монтаж направляющих рельсов выполнен на шлифованной плите 9-10 степени точности по ГОСТ 24643-81. Шероховатость рабочей поверхности составляет Ra 0,063 мкм в продольном и 0,32 мкм в поперечном направлении. Плита изготовлена из стали 20, микротвердость около153 HV. На плите выполнены резьбовые отверстия для закрепления рельсов различной длины. В экспериментах использован направляющий рельс номинального размера 30 высокого класса точности (Н). Шероховатость опорной поверхности рельса Ra 0,02

мкм в продольном и 0,32 мкм в поперечном направлении. Рельсы использовались длиной 125, 215, 315, 400, 450, 650 мм.

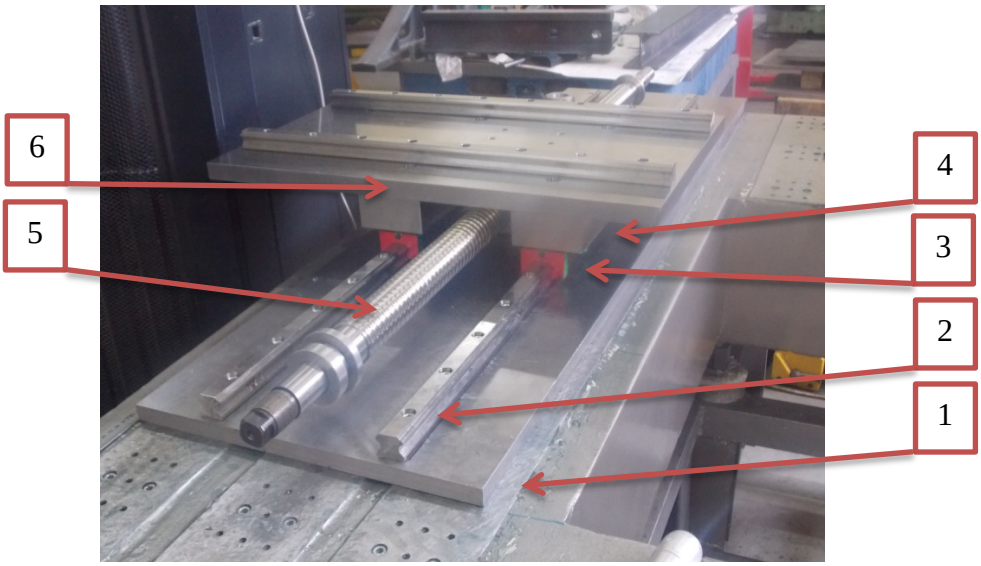
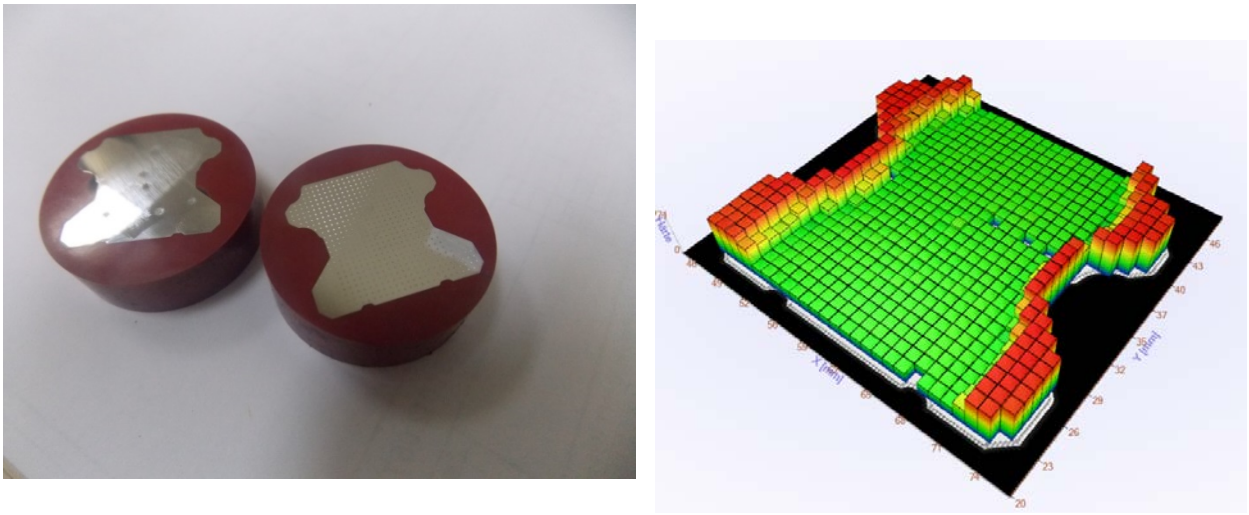


Рис. 1. Конструкторское решение линейной координаты

Поскольку поверхность рельса упрочнена была выполнена оценка изменения его твердости по глубине. Для этого были изготовлены микрошлифы, на которых проводилось эти исследования (рисунок 2а). По диаграмме микротвердости рельса показанной на рисунке 2б, можно увидеть, что максимальную микротвердость имеют участки рельса, в которых происходит контакт с кареткой (боковые поверхности рельса, красный цвет). На этих участках твердость достигает 60 HRC. Опорная плоскость рельса имеет существенно меньшую твердость, примерно 25 HRC (нижняя часть рельса, зеленый цвет).



а) б)

Рис. 2. Микротвердость рельса: а) микрошлифы, изготовленные для измерения; б) диаграмма микротвердости рельса

С учетом соотношения твердости плиты и рельса можно считать, что локальные деформации будут происходить в основном в плите при вдавливании в нее рельса. При этом существуют и сравнительно большие деформации рельса, определяемые наличием

макроотклонений, волнистости. Возможны также деформации, возникающие из-за изгиба рельса при неправильной схеме его установки и крепления к плите.

Исследование выполнялось путем измерения контактных деформаций в семи точках с равным шагом с помощью индикатора часового типа [3] при закреплении рельса винтами с определенным крутящим моментом (рисунок.3).

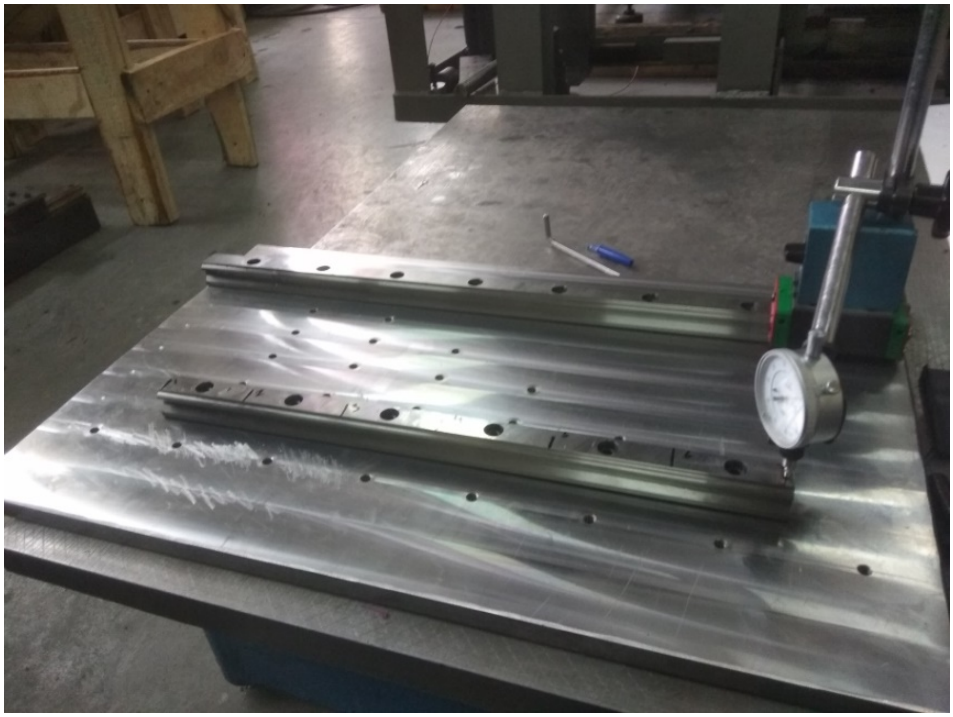


Рис. 3. Схема измерения податливости стыка

Рельс закреплялся к базовой плите по схеме рекомендованной производителем. Использовались винты М8 с внутренним шестигранным отверстием. Винты закручивались последовательно друг за другом. Рекомендуемый момент затяжки для этого типоразмера составляет 310 Н*см. Исследования были проведены для следующих моментов затяжки: 200, 300, 400, 500 Н*см. Затягивание винтов выполнялось с помощью динамометрического ключа.

Измерения происходили в следующей последовательности

1. Рельс устанавливается на плите, затем предварительно закрепляется винтами с минимальным моментом, обеспечивающим неподвижность рельса.

2. Выполняются измерения положения верхней плоскости рельса в этом состоянии, которое считалось исходным. Измерения выполнялись в семи точках, выбранных с равным шагом.

3. Последовательно затягиваются винты моментом 200 Н*см с помощью динамометрического ключа. Измеряется величину смещения стыков в принятых семи точках.

4. Оценка деформации стыков последовательно выполняется при затяжке винтов крутящими моментами 300, 400 и 500 Н*см.

Эксперимент для каждой длины рельса повторялся три раза, результаты измерений после усреднения по числу замеров и количеству точек показаны на графике (рисунок 4).

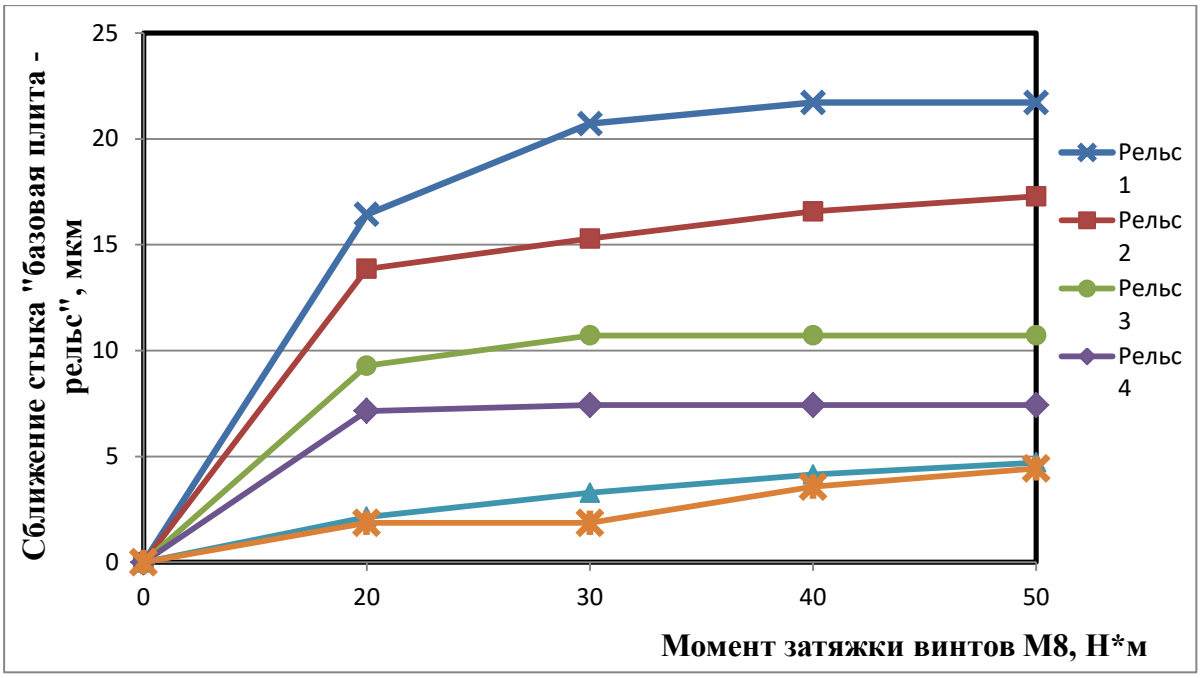


Рис. 4. График зависимости контактного сближения от момента затяжки рельса: 1 -длина рельса 125 мм; 2 – длина рельса 215 мм; 3 – длина рельса 315мм; 4 - длина рельса 400 мм; 5 длина рельса 450 мм; 6 -длина рельса 650 мм

Из графиков видно, что величина площади контактирующих деталей оказывает существенное влияние на величину контактных деформаций. С увеличением длины рельса средние значения деформаций меняются почти по линейному закону. Это можно объяснить снижением влияния на деформацию отдельных гармоник волнистости базовой плиты. Для направляющих малой длины необходимо ужесточить требования на параметры геометрической точности поверхности плиты для уменьшения контактных деформаций и необходимой величины коррекции исполнительных размеров. Характер графиков показывает, что величина крутящего момента влияет на деформации до определенного предела. Для резьбы М8 такой границей является 300 Н*см. Начиная с этого крутящего момента деформации в стыке практически не меняются. Дальнейшее увеличение нагрузки не повысит жесткость конструкции. При этом допуск на величину крутящего момента может составить ±30 Н*см.

Список литературы: 1. Польский Е.А., О.А. Никонов, Н.С. Митраков, Ф.Д. Звягинцев Технологическое обеспечение точности наукоемких сборочных узлов на этапах жизненного цикла // Известия ТулГУ. Технические науки. – 2017. – №8. – С. 328-338. **2.** Демкин, Н.Б., Рыжов Э.В. Качество поверхности и контакт деталей машин //М.: Машиностроение, 1981. 244 с. **3.** Федуков А.Г., Хандожко А.В., Польский А.Н., Щербаков А.Н. Обеспечение точности станочных узлов на базе унифицированных модулей с учетом контактной жесткости стыков // Вестник «БГТУ». Машиностроение машиноведение. 2019. №3. С. 51 -59.

СИНТЕЗ ТИПОВОГО ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ПОДГОТОВКИ ПОВЕРХНОСТИ ПЕРА ЛОПАТКИ ТУРБИНЫ К НАНЕСЕНИЮ ЗАЩИТНОГО ПОКРЫТИЯ

Хавлин Т.В., Михайлов А. Н., Глухов С.В.
(*ДАВД МВД ДНР, ДОННТУ, г. Донецк, ДНР*)
Тел.: +38 (071)3212394; E-mail: strana.sovetov.80@mail.ru

Abstract: *Turbine blades of gas turbine engines operate in quite specific operating conditions. In most cases, their resource depends on the degree of power (complexity, unevenness) of the combined abrasive-erosive and/or temperature impact. The complexity of functional effects leads to uneven destruction on the surface of the turbine blade.*
Key words: *the blade of the turbine, especially the fracture surfaces, typical technological process, protective coating, functionally-oriented technologies*

Введение. Лопатки турбин газотурбинных двигателей (ГТД) работают в достаточно специфических (сложных) эксплуатационных условиях. В большинстве случаев их ресурс зависит от степени мощности (сложности, неравномерности) совместного абразивно-эрозионного и/или температурного (другого) воздействия. Сложность функциональных воздействий приводит к возникновению неравномерности разрушений на поверхности пера лопаток турбины. Гипотетически, учитывая то, что функции ступеней и турбин одного ГТД предопределены при их разработке и конструировании, разница в особенностях разрушения прослеживается не только между единичными поверхностями пера одной лопатки турбины, но и по функциональным частям пера на уровне ступеней одной турбины, на уровне различных видов турбин одного двигателя. Таким образом, особенности разрушения лопаток турбин в зависимости от принадлежности к соответствующей ступени или турбине одного двигателя будут обусловлены следующим:

1. Соответствующее (последовательное) изменение местоположения зон разрушений.
2. Увеличение (уменьшение) степени разрушения поверхности.
3. Различия в параметрах (характеристиках) разрушений в зависимости от местоположения лопатки в двигателе.

Применение защитных покрытий из монометаллов, интерметаллидов, керамики, композиционных материалов и др. рассматривается и изучается в различных научных трудах [1, 2, 3]. Здесь же изучаются их свойства, возможности, особенности износа и разрушения и методы обработки и нанесения покрытий. В некоторых источниках [2] приводятся данные о пределах толщины наносимых покрытий, где для авиационных турбин допустимая толщина, например, составляет 120 мкм, а для наземных установок до 240 мкм. Или, например, приводится перечень существующих защитных покрытий, наносимых традиционным путем, среди них: СДП-1, СДП-2, ВСДП-5, ВСДП-11 и т.д. Изучаются особенности легирования защитных покрытий редкоземельными материалами (*Y, Hf, Ta, Re* и др.) и использование при нанесении данных покрытий барьерных слоев для снижения диффузионного эффекта. Все виды изученных и внедренных в производство покрытий имеют целевое предназначение, а их эффективное применение основывается на выборе технологии и создании правильного технологического процесса.

Как было сказано ранее, лопатки турбин при эксплуатации претерпевают критические воздействия различных разрушающих факторов с переменчивой мерой (общей для среды или частной для какой либо характеристики) воздействия. Такие перемены приводят к разрушениям, имеющим прогнозируемые особенности. Некоторые, общие, это такие как:

- защитное покрытие имеет зоны износа только слоя самого покрытия;

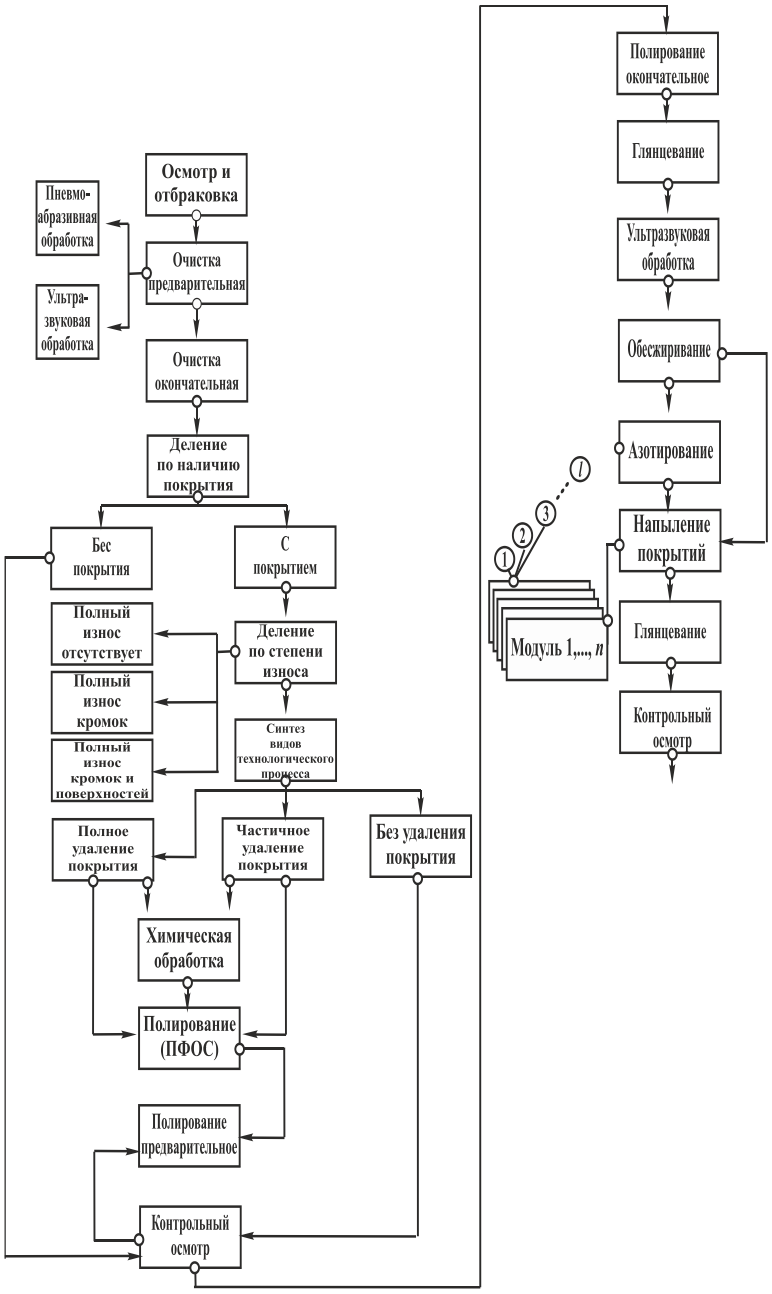


Рис. 1. Структура типового технологического процесса обработки лопаток турбин ГТД с нанесением ионно-плазменных покрытий

- защитное покрытие имеет зоны полного разрушения, а также имеются зоны разрушения тела лопатки в области кромок лопатки турбины;

- защитное покрытие имеет зоны полного разрушения, а также имеются зоны разрушения тела лопатки в области кромок и поверхностей других функциональных элементов (пера лопатки).

Таким образом, при создании технологического процесса отделочно-упрочняющей обработки лопаток турбин (особенно для лопаток бывших в эксплуатации) необходимо учитывать, что износ защитного покрытия функциональных частей пера лопатки будет иметь широкий спектр особенностей (размеры, структуру, форму, вид и т.д.). Также, различия в износе приумножаться большим разнообразием лопаток турбин различных по назначению газотурбинных двигателей.

В связи с этим, в данной работе решается задача по созданию структуры типового технологического процесса нанесения защитного покрытия на лопатки турбин с применением функционально-ориентированных технологий [4,5].

Основное содержание и результаты работы. Структура синтеза типового технологического процесса повышения ресурса лопаток турбин может иметь следующий вид и перечень операций (рис. 1):

1. Проведение технического осмотра лопаток турбин с целью определить детали, пригодные для проведения ремонта (восстановления).

2. Подготовка поверхности пера лопаток после эрозионно-коррозионного воздействия и горения топлива (налипания частиц песка, сажи и т.д.). Методы, которые могут применяться для этих целей, различны, а именно:

2.1. Пневмо-абразивная обработка поверхностей мелким электрокорундом (карбидом кремния).

2.2. Использование ультразвуковой установки.

3. Обработка поверхности с целью удаления мелких механических повреждений от коррозионно-эрозионного воздействия.

4. Распределение лопаток по состоянию (наличию) защитного покрытия:

4.1. Лопатки турбин не имеющие защитного покрытия отбираются в партию для последующего изучения состояния реальной поверхности (контроля геометрии).

4.2. Лопатки с защитным покрытием (ФОП, традиционное, и др.).

5. Определение состояния защитного покрытия:

5.1. Защитное покрытие имеет зоны износа только слоя самого покрытия,

5.2. Защитное покрытие имеет зоны полного разрушения, а также имеются зоны разрушения тела лопатки в области кромок лопатки турбины.

5.3.Защитное покрытие имеет зоны полного разрушения, а также имеются зоны разрушения тела лопатки в области кромок и поверхностей других функциональных элементов (пера лопатки).

6. Синтез технологического процесса (структуры технологического процесса) с учетом степени (состояния, наличия, и т.д.) защитного покрытия и применяемых для его съема методов (объема работы) выполняется в следующем объеме:

6.1. Необходимо выполнить полное удаление поврежденного защитного покрытия.

6.2. Необходимо выполнить зональное (частичное) удаление защитного покрытия.

6.3. Покрытие в результате эксплуатации имеет равномерный износ, покрытие отсутствует в связи с тем, что лопатка турбины находится в процессе изготовления. Контроль геометрии.

7. Применение химического способа обработки поверхности (травление, разрыхление, растворение).

8. Обработка поверхности полированием (применение ориентированного полировальника).

Технологическая операция, связанная с полированием, производится в некоторых случаях одновременно различных материалов. Т.е. при наличии защитного покрытия на восстанавливаемой лопатке в некоторых зонах поверхности пера полировальный инструмент будет в момент воздействия иметь пятно контакта с поверхностью покрытия и с поверхностью основного металла тела лопатки турбины.

9. Предварительное полирование пера лопатки турбины, которое проводится с целью придания поверхности лопатки турбины единообразного состояния по показателю параметра шероховатости R_a = 0,4 … 0,16 мкм, после выполнения полирования способом направленного воздействия и контроля геометрии.

10. Повторный промер параметров геометрии.

11. Окончательное полирование элементов пера лопатки турбины, которое проводится с целью придания поверхности лопатки турбины единообразного состояния по параметрам шероховатости R_a = 0,100 … 0,063 мкм

12. Грубое глянцевание поверхностей, состоящих из различных материалов до параметров шероховатости R_a = 0,050 … 0,032 мкм. Процессы, происходящие в момент выполнения данной технологической операции, представляют комбинацию химических, термических и микропластических процессов.

13. Обработка (чистка) лопаток турбин с использованием ультразвуковой установки для снятия возможных загрязнений (окислов) с функциональных частей. Этот процесс выполняется с помощью ультразвуковой обработки в специальных ваннах. В качестве обеспечения процесса обработки используется ультразвуковая установка УЗГ 3-4 и преобразователи ПМС 2,5-18 с химически активными веществами.

14. Обработка поверхности пера лопатки, применяя при этом последовательно «Нефрас С2-80/120, С3-80/120» ТУ 38.401-67-108-92, эфир и ректификат спирта этилового.

15. Насыщение газами поверхности пера лопатки (азотирование). Данная технологическая операция проводится с целью придания специального состояния фазам и структурам материала лопатки после их эксплуатации. Процесс азотирования может быть выполнен следующими методами:

15.1. Азотирование в тлеющем разряде.

15.2. Азотирование с использованием энергии вакуумно-дугового разряда.

16. Технологическая операция напыления защитного покрытия с использованием вакуумной ионно-плазменной установки типа ННВ 6.6-И1.

16.1. Подготовка поверхности пера лопатки, применяя ионное травление в газовом разряде.

16.2. Ионная бомбардировка и прогрев обрабатываемой поверхности пера лопатки.

16.3. Нанесение защитного покрытия. В процессе нанесения защитного покрытия могут использоваться различные материалы и соответственно их композиции. Таковыми могут быть однослойные, многослойные, одноэлементные, композиционные и др. Наиболее эффективно используются покрытия с функционально-ориентированными свойствами, способные обеспечить повышение ресурса в условиях функционального воздействия [5].

17. Глянцевание поверхности нанесенного защитного покрытия. Данная операция является комбинацией химических и механических преобразований поверхностности покрытия. Показатель шероховатости будет находиться в пределах R_a = 0,040 … 0,020 мкм.

18. Технологический контроль результатов нанесения защитного покрытия и состояния элементов пера лопатки.

Вывод. Схема типового технологического процесса, разработанная с целью повышения ресурса лопаток турбин ГТД, делает процесс нанесения защитного покрытия универсальным. С использованием структуры данного типа можно построить процесс подготовки (обработки) поверхности с последующим нанесением защитного функционально-ориентированного покрытия на выбранные для восстановления и повышения ресурса различные типы лопаток турбин. Также данная структура, ориентируясь на начальные условия (состояние лопаток, наличие покрытия на них, возможности технологического обеспечения и т.д.), способна обеспечить при построении процесса нанесения покрытий рациональность в выборе конкретных вариантов технологических операций.

Список литературы: **1.** Абраимов, Н.В. Материаловедение. Технология конструкционных материалов / Н.В. Абраимов, Ю.С. Елисеев, В.В. Крымов // Учебник для вузов под ред. Абраимова Н.В. М.: Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2005 - 560 с. **2.** Каблов, Е.Н. Теплозащитные покрытия для лопаток турбин высокого давления перспективных ГТД / Е.Н.Каблов, С.А.Мубояджян // ГТТ. 2001. №3. ВИАМ2011-205895. **3.** Крымов, В.В. Производство газотурбинных двигателей / В.В. Крымов, Ю.С. Елисеев, К.И. Зудин - М.: Машиностроение // Машиностроение-Полет, 2002. - 376 с., ил. **4.** Михайлов А. Н., Хавлин Т.В. Особенности технологического процесса повышения ресурса лопаток турбины авиационных двигателя на базе функционально-ориентированной технологии // Международный борник научных трудов «Прогрессивные технологии и системы машиностроения». 2017. №1. – Донецк: ДонНТУ, 2017. С. 84-100. **5.** Михайлов А.Н. Основы синтеза функционально-ориентированных технологий машиностроения. - Донецк: ДонНТУ, 2009. - С 347.

ВЛИЯНИЕ УСЛОВИЙ И РЕЖИМА ПЛОСКОГО ШЛИФОВАНИЯ С НАЛОЖЕНИЕМ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ КОЛЕБАНИЙ НА ТЕМПЕРАТУРНОЕ ПОЛЕ

Хазов А.В., Унянин А.Н. *(АО «УМЗ», УлГТУ, г. Ульяновск, Россия)*
Тел./Факс:+7 903 3205351; E-mail: a_un@mail.ru

Abstract: *Numerical simulation of the temperature field that occurs during the grinding of workpieces using ultrasonic vibrations is performed. The coefficient of friction of the abrasive grain on the workpiece, its wear and elements of the grinding mode were varied. The influence of these parameters on the temperatures in the surface layers of the workpiece and local temperatures, including in the process of grinding using ultrasonic vibrations, is established.Superimposing ultra-sonic vibrations on the workpiece under all the conditions and modes used can significantly reduce the temperature.*
Keywords: *grinding, ultrasonic vibrations, temperature, mode, simulation, abrasive grain.*

Налипание частиц материала заготовок из адгезионно-активных и пластичных материалов на абразивные зерна (АЗ) шлифовального круга является одной из причин снижения режущей способности круга. Доминирующее влияние на налипание оказывает температура [1], поэтому определение локальных температур актуально для прогнозирования режима шлифования, обеспечивающего минимальную интенсивность засаливания рабочей поверхности круга. Методики расчета локальных температур представлены в работах [2 – 4].

Одним из средств снижения локальных температур в процессе шлифования является применение ультразвуковых колебаний (УЗК). Для расчета температурного поля при шлифовании с наложением УЗК разработаны физические и математические модели, методика расчета и программное обеспечение [5].

С применением разработанного программного обеспечения выполнено моделирование температурного поля процесса шлифования при варьировании амплитудой колебаний и расходом смазочно-охлаждающей жидкости (СОЖ) через зону шлифования [5, 6]. Системные исследования влияния режима шлифования на локальные температуры процесса шлифования с наложением УЗК до сих пор не выполнены.

Численное моделирование температур выполнено для схемы плоского многопроходного шлифования периферией круга. Моделировали температурное поле, возникающее при обработке заготовок из коррозионностойкой стали 12Х18Н10Т кругом из электрокорунда 24А25ПСТ16К2.

Для оценки адекватности методики расчета температур сравнивали контактную температуру в зоне шлифования, измеренную полуискусственной термопарой, с расчетными значениями температуры. С термопары сигнал поступал на аналогово-цифровой преобразователь АЦП/ЦАП 16/16 SigmaUSB с усилителем, затем на персональный компьютер. При помощи специального программного обеспечения ZetLab информация обрабатывалась и выводилась на экран монитора. Среднюю расчетную температуру в зоне контакта получали, усредняя температуру поверхностных слоев заготовки в различных точках и в различные моменты времени на расстоянии от поверхности заготовки, равном диаметру проволоки термопары. Расхождения между экспериментальными и расчетными значениями температуры при шлифовании с наложением УЗК амплитудой 1 … 3 мкм не превышают 16%.

При моделировании температур варьировали глубиной шлифования t в пределах 0,01 … 0,03 мм, скоростью продольной подачи $V_{s\,пр}$ от 10 до 20 м/мин и рабочей скоростью круга $V_к$ в предел ах 35 … 100 м/с [7].

Различные условия работы АЗ моделировали, изменяя коэффициент трения зерна о заготовку μ_0 от 0,2 (что соответствует трению незасаленного АЗ о заготовку при наличии смазки в зоне контакта) до 0,4 (трение о заготовку зерна, поверхность которого полностью покрыта налипами, при отсутствии смазки составляет 0,4 … 0,5 [8]) и размер ℓ_2 площадки затупления АЗ в пределах 0,03 …0,1 мм. Большая часть расчетов выполнена для случая, когда размер площадки затупления ℓ_2 на АЗ из электрокорунда составляет 100 мкм. Площадка такого размера образуется на зерне после продолжительного времени его работы. После правки круга размер ℓ_2 составляет около 20 мкм [9], поэтому расчеты выполнены при различных значениях ℓ_2 .

В процессе моделирования фиксировали: мощности источников тепловыделения; температуру заготовки T_1 на различной глубине; локальную температуру T_2 на площадке контакта зерна с заготовкой EV и T_2' на площадке контакта зерна со стружкой NE (рис. 1).

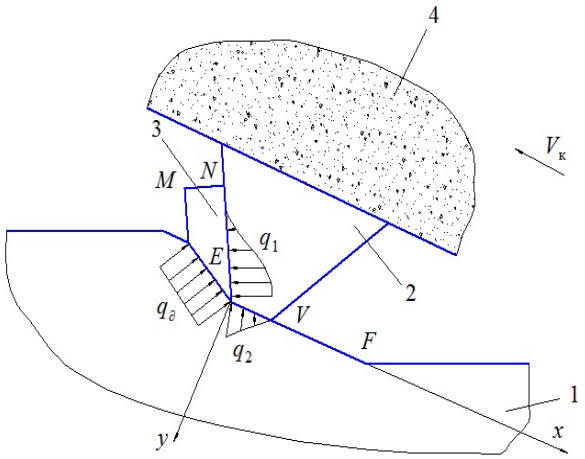


Рис. 1. Схема теплообмена в зоне контакта режущего абразивного зерна с заготовкой: 1 – заготовка; 2 – абразивное зерно; 3 – стружка; 4 – шлифовальный круг

При увеличении рабочей скорости круга с 35 до 60 м/с температура T_1 в поверхностных слоях заготовки на глубине 2 и 50 мкм увеличилась на 8 и 5%. Локальные температуры T_2 и T_2' увеличились в большей степени – на 70 и 24 % соответственно (табл. 1). При увеличении $V_к$ до 100 м/с температура T_1 увеличилась на 13 и 10 %; T_2 и T_2' – на 130 и 50 % соответственно. При шлифовании с наложением УЗК с $V_к$ = 60 м/с все температуры оказались ниже, чем при обработке без УЗК на скорости 35 м/с. При шлифовании с УЗК со скоростью 100 м/мин средняя локальная температура T_2 выше на 40%, чем при обработке без УЗК при $V_к$ = 35 м/с, причем абсолютное значение этой температуры на 70% превышает температуру плавления материала АЗ из электрокорунда (температура плавления электрокорунда равна 2120 … 2170 К). Увеличение скорости круга приводит в большей степени к увеличению локальных температур.

Варьирование коэффициентом трения μ_0 оказывает существенное влияние на температуру заготовки и на локальные температуры. С увеличением этого коэффициента от 0,2 до 0,4 температура деформируемого слоя материала заготовки увеличивается до 40 %. В результате почти в 3 раза снижается мощность источника тепловыделения от работы деформирования $W_д$, что объясняется снижением интенсивности напряжений с увеличением температуры деформируемого слоя. Мощности источников тепловыделения от трения стружки о зерно W_{1T} и зерна о заготовку W_{2T} при увеличении μ_0

от 0,2 до 0,4 увеличиваются на 40 и 60 % соответственно, что является причиной увеличения локальной температуры T_2 и температуры заготовки T_1 (см. табл. 1).

Зависимость локальной температуры на площадке контакта АЗ со стружкой T_2' от коэффициента трения имеет нелинейный характер (см. табл. 1). При увеличении μ_0 до 0,3 температура T_2' снижается на 30 %, однако при дальнейшем увеличении μ_0 до 0,4 температура T_2' увеличивается. Такие результаты получены при шлифовании без применения и с применением УЗК, однако при использовании колебаний температуры значительно ниже.

Таблица 1. Результаты численного моделирования локальных температур при шлифовании заготовок из стали 12Х18Н10Т: $Vs_{пр}$ = 10 м/мин; t = 0,01 мм; ℓ_2 = 100 мкм

Рабочая скорость шлифовального круга $V_к$, м/с	Коэффициент внешнего трения зерна о заготовку, μ_0	Средняя температура заготовки T_1, К		Средняя локальная температура на площадке контакта АЗ с заготовкой T_2, К	Средняя локальная температура на площадке контакта АЗ со стружкой T_2', К
		на глубине 2 мкм	на глубине 50 мкм		
35	0,2	1275/1007	1145/940	2778/1696	2426/1454
35	0,3	1410/1113	1305/1071	2852/1740	1650/989
35	0,4	1589/1258	1443/1185	3398/2075	1960/1174
60	0,2	1377/1088	1197/972	4746/2307	3028/1814
100	0,2	1450/1147	1260/1035	6444/3935	3584/2150
Примечание. В числителе приведены значения температур без наложения УЗК, в знаменателе – с наложением УЗК амплитудой A_y = 3 мкм					

При изменении μ_0 от 0,2 до 0,3 мощности источников тепловыделения от трения стружки о зерно $W_{1Т}$ и зерна о заготовку $W_{2Т}$ увеличиваются незначительно (до 7 %). Мощность источника тепловыделения от работы деформирования W_∂ снижается более, чем в 2 раза. В результате локальная температура T_2 на площадке контакта АЗ с заготовкой незначительно увеличивается, а на площадке контакта со стружкой T_2' существенно снижается. Это объясняется тем, что, поскольку площадка контакта зерна со стружкой расположена в непосредственной близости от зоны деформирования, то уменьшение мощности источника тепловыделения W_∂ с увеличением коэффициента трения оказывает превалирующее влияние на температуру T_2'.

С увеличением скорости продольной подачи от 10 до 20 м/мин температура заготовки несколько снижается, а локальные температуры T_2 и T_2' увеличиваются на 23 … 25 и 11 … 14 % соответственно (табл. 2.). Увеличение $V_{s\,пр}$ приводит к росту мощностей всех источников тепловыделения, поэтому локальные температуры увеличиваются. Время действия источников теплоты на заготовку уменьшается, поэтому снижается температура в ее поверхностных слоях. Причиной увеличения мощности источников тепловыделения с увеличением $V_{s\ пр}$ является рост напряжения сдвига вследствие уменьшения температуры деформируемого слоя материала заготовки. Другой причиной увеличения $W_{1Т}$ и W_∂ являются рост глубины внедрения АЗ в заготовку и ширины среза.

С увеличением глубины резания от 0,01 до 0,03 мм локальные температуры T_2 и T_2' увеличиваются на 7 и 6% соответственно при шлифовании без и с использованием

УЗК (см. табл. 2). Увеличение размера площадки затупления ℓ_2 на АЗ также приводит к повышению температур.

Наложение на заготовку УЗК амплитудой A_y = 3 мкм при всех использованных условиях и режимах позволяет снизить локальные температуры до 40% и температуры в поверхностных слоях заготовки до 20%.

Таблица 2. Результаты численного моделирования локальных температур при шлифовании заготовок из стали 12Х18Н10Т: μ_0 = 0,2; $V_к$ = 35 м/с

Глубина шлифования t, мм	Скорость продольной подачи $V_{S\ пр}$, м/мин	Амплитуда УЗК			
		A_y = 0 мкм		A_y = 3 мкм	
		Средняя локальная температура на площадке контакта			
		АЗ с заготовкой T_2, К	АЗ со стружкой T_2', К	АЗ с заготовкой T_2, К	АЗ со стружкой T_2', К
0,01	10	2778/1917	2426/1673	1696/1170	1454/1001
0,01	15	3063/2114	2563/1767	1870/1292	1536/1057
0,01	20	3767/2603	2780/1918	2086/1439	1667/1145
0,02	10	2875/1988	2503/1725	1760/1215	1500/1320
0,03	10	2984/2060	2581/1780	1825/1260	1547/1064
Примечание. В числителе и знаменателе – температура при ℓ_2 = 100 и 30 мкм соответственно.					

В результате установлено влияние коэффициента трения, износа зерна и элементов режима шлифования на температуры в поверхностных слоях заготовки и локальные температуры, в том числе в процессе шлифования с применением УЗК, что позволяет прогнозировать работоспособность шлифовального круга и качество шлифованных деталей.

Работа выполнена при поддержке РФФИ и Правительства Ульяновской области в рамках научного проекта № 19-48-730002.

Список литературы: 1. Худобин Л.В., Унянин А.Н. Исследование кинетики процесса налипания частиц материала заготовки на абразивные зерна // Фундаментальные и прикладные проблемы технологии машиностроения: материалы междунар. научно-техн. конф. – Орел: Орловский госуд. технич. унив., 2002. – С. 53 – 56. **2.** Резников А.Н. Тепловые процессы в технологических системах. – М.: Машиностроение, 1990. – 288 с. **3.** Бокучава Г.В. Трибология процесса шлифования. – Тбилиси: Сабчота Сакартвело, 1984. – 238 с. **4**. Дьяконов А. А. Теплофизическая модель заготовки от действия единичного теплового источника – абразивного зерна // Известия вузов. Машиностроение. – 2007. – № 7. – С. 60 – 62. **5.** Унянин А.Н. Исследование температур при шлифовании с наложением ультразвуковых колебаний // Вектор науки ТГУ. – 2015. – № 2 (32 - 2). – С. 191 – 195. **6.** Унянин А.Н. Влияние технологических факторов на локальные температуры при шлифовании с наложением ультразвуковых колебаний // Вектор науки ТГУ. – 2016. – № 1 (35). – С. 48 – 53. **7.** Справочник технолога. – М.: Инновационное машиностроение, 2019. – 800 с. **8.** Худобин Л. В., Унянин А. Н. Минимизация засаливания шлифовальных кругов. – Ульяновск: УлГТУ, 2007. – 298 с. **9.** Филимонов Л. Н. Высокоскоростное шлифование. – М. – Л.: Машиностроение. Ленинградское отделение, 1979. – 248 с.

УСТОЙЧИВОСТЬ ЛИСТОВОЙ РЕССОРЫ МЕХАНИЗМА КАЧАНИЯ КРИСТАЛЛИЗАТОРА

Царенко С.Н., Набокин В.Н. *(КамчатГТУ, г. Петропавловск-Камчатский, Россия)*
Тел. +7 (4152) 300977; E-mail: Tsarenko_SN@kamchatgtu.ru

Abstract: *The stability of the leaf spring of the swing mechanism of the mold of the continuous casting machine is considered. For a compressed spring section, the expression of deformations and rotation angles using the initial parameter method is obtained. From the solution of the stability equation, the value of the critical force is found. The value of the critical force significantly exceeds the efforts arising in the spring during operation.*
Key words: *continuous-casting machine, mold oscillating system, elastic rod, stability of a compressed rod, stress-strain state, spring, longitudinal-transverse bending.*

Применение упругих элементов в современных конструкциях рессорных механизмов качания кристаллизатора машины непрерывного литья заготовок (МНЛЗ) объясняется их способностью совместно с демпфером снижать динамическое воздействие (удары и вибрации от технологического процесса) на корпусную часть оборудования, а также возможностью выполнять роль направляющих устройств для передачи движения от привода механизма качания к кристаллизатору. Упругие элементы также позволяют сократить количество и даже полностью отказаться от кинематических пар в виде шарниров (узлов трения) в конструкции механизмов качания (за счет применения, так называемых, упругих шарниров). Постановка задачи динамического синтеза таких механизмов является не традиционной, т.к. на практике конструкции упругих элементов (направляющие и шарниры) механизмов качания, в отличие от существующих расчетных схем [1], являются статически неопределимыми системами, поэтому решение данной проблемы, на основе теории упругости, считается, сегодня актуальной научной задачей.

Качество литых заготовок и производительность МНЛЗ, а также стабильность и безопасность процессов разливки стали во многом зависят от работы кристаллизатора и его механизма качания, а точнее от обеспечиваемого им параметров колебательного движения кристаллизатора МНЛЗ. В числе этих параметров – закон, частота и амплитуда колебательного движения кристаллизатора, а также направление его движения вдоль линии вытягивания непрерывнолитого слитка из кристаллизатора (технологической оси ручья МНЛЗ) [2].

Рессорный механизм качания кристаллизатора представляет абсолютно (деформируемую) упругую механическую систему, что позволяет теоретически хорошо компенсировать динамические нагрузки при снижении коэффициента запаса прочности и массы звеньев механизма на фоне повышения общей надежности его конструкции [3]. Такая конструкция механизма качания позволяет увеличить скорость вытягивания слитка из кристаллизатора МНЛЗ с пропорциональным увеличением частоты и уменьшением амплитуды колебания кристаллизатора непосредственно в процессе непрерывного литья заготовок.

Особенностью конструкции листовых рессор является их значительная гибкость, что приводит к существенному снижению изгибающего момента в сечениях рессоры и выводит ее за пределы классической схемы балки, работающей на поперечный изгиб. С другой стороны модель гибкой нити также не отражает, в полной мере, специфику работы рессоры, таким образом, при исследовании напряженно-деформированного состояния (НДС), рессору следует рассматривать, как стержень, испытывающий продольно-поперечный изгиб.

На рисунке 1 приведен общий вид современного рессорного механизма качания сортовой МНЛЗ. В приведенной конструкции механизма качания используются продольные и поперечные листовые рессоры, работающие в вертикальном направлении.

Действие со стороны подвижной части оборудования на рессору приводится к главному вектору системы сил P и главному моменту M. Для исследования НДС используем принцип суперпозиций, т.е. независимо исследуем действие силы P и момента пары сил M.

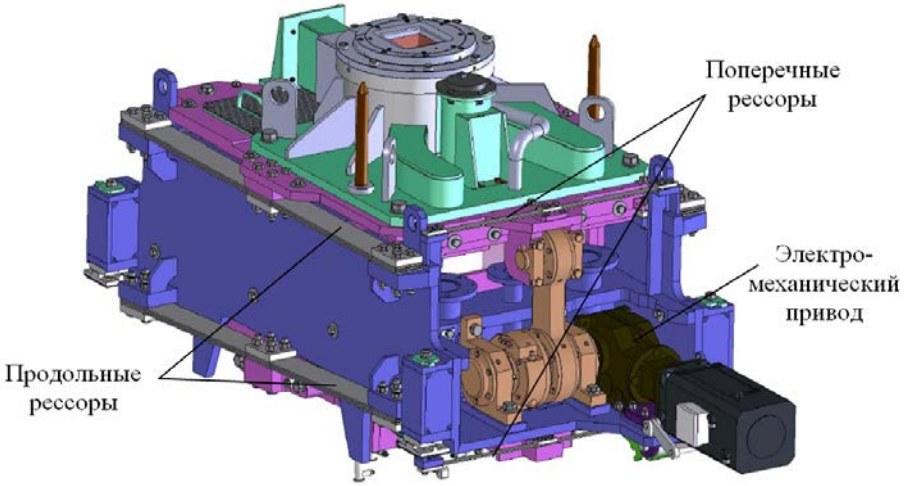


Рис. 1. Рессорный механизм качания кристаллизатора сортовой МНЛЗ

Рассмотрим работу конструкции рессоры согласно расчетной схеме рисунок 2. Представленная система состоит из двух участков и является трижды статически неопределимой.

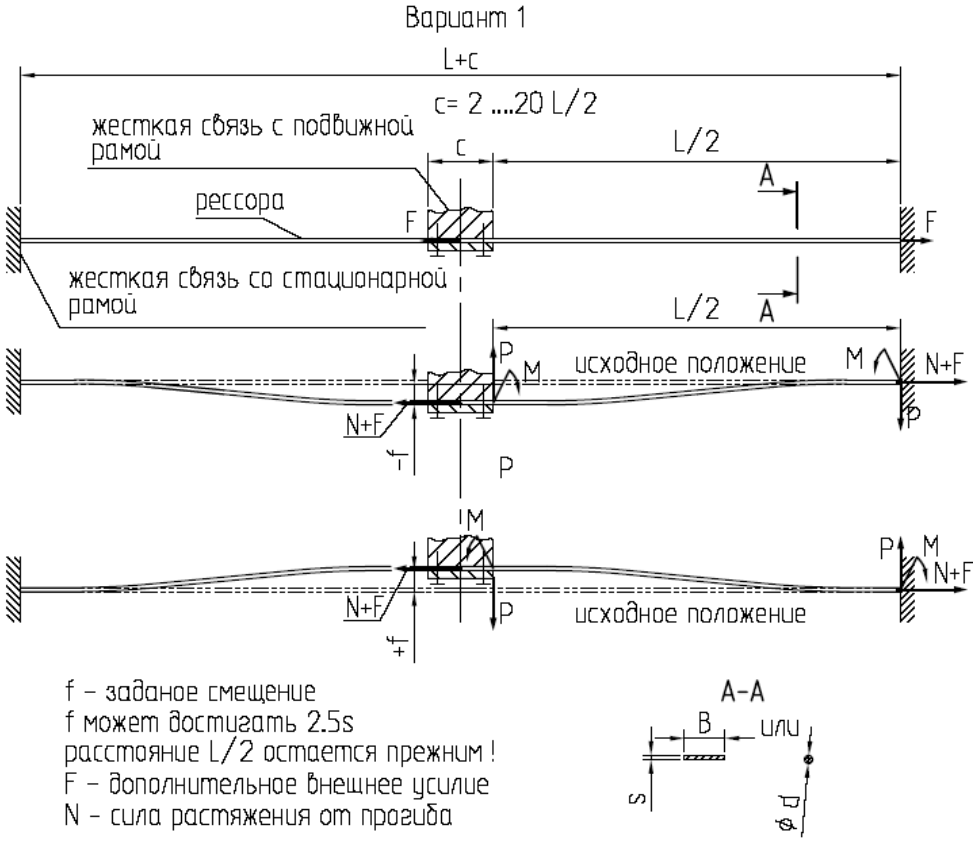


Рис. 2. Расчетная схема рессоры механизма качания

Продольное усилие, возникающее в сечениях рессоры, определяется двумя составляющими факторами:

1) вследствие статической неопределимости расчетной схемы (обе опоры по концам рессоры являются жесткими заделками) за счет удлинения продольной оси рессоры возникает усилие, которое будет зависеть исключительно от вида деформированной схемы;

2) в результате внешнего воздействия на рессору возникает продольная составляющая нагрузки.

Для использования принципа суперпозиций, прежде всего, следует учесть отсутствие возможности потери устойчивости сжатого участка, для этого рассмотрим расчетную схему рисунок 3, здесь $P_{кр}=\frac{F}{2}$ – продольная нагрузка, приходящаяся на сжатый участок рессоры, $c=\frac{12EJ}{l^3}$ – коэффициент жесткости (учитывает реакцию со стороны растянутого участка рессоры) [4]. Для представленной схемы уравнения прогибов и углов поворота будут иметь вид [5]:

$$y(x)=y_0\left(1-\frac{c}{k^3EJ}(kx-\sin kx)\right)+\frac{M_0}{k^2EJ}(1-\cos kx);$$

$$\theta(x)=-y_0\frac{c}{k^2EJ}(1-\cos kx)+\frac{M_0}{kEJ}\sin kx, \text{ где } k^2=\frac{P_{\text{кр}}}{EJ}.$$

С учетом граничных условий на жесткой заделке $y(l)=0$, $\theta(l)=0$ и введя обозначение $\lambda=kl$, получаем однородную систему линейных уравнений

$$\begin{cases} y_0\left(1-\frac{12}{\lambda^3}(\lambda-\sin\lambda)\right)+\frac{M_0l^2}{\lambda^2EJ}(1-\cos\lambda)=0 \\ -y_0\frac{12}{l\lambda^2}(1-\cos\lambda)+\frac{M_0l}{\lambda EJ}\sin\lambda=0. \end{cases}$$

Рис. 3. Расчетная схема сжатого участка рессоры

Решив систему трансцендентных уравнений относительно произвольных постоянных y_0 и M_0, получаем уравнение устойчивости

$$\lambda^3\sin\lambda-12\lambda\sin\lambda+24(1-\cos\lambda)=0.$$

Численно из уравнения находим 1-й корень λ=4,407. Таким образом, для параметров конструкции рессоры. В качестве примера, рассмотрим рессору с параметрами [4]: сечение $B\times S$=100×4 мм^2, длина L=1,32 м (l=0,66 м), для нее получим

$$P_{\text{кр}}=\frac{\lambda^2EJ}{l^2}=\frac{4{,}407^2\cdot2\cdot10^5\cdot533}{660^2}=4753 \text{ Н, тогда } F=2P_{\text{кр}}=9506 \text{ Н.}$$

Полученное значение F, значительно превышает значение продольной нагрузки, которая возникает в процессе работы рессоры [4] (2500...5500 Н). Таким образом, когда значение F не превышает критическое значение, внешняя продольная нагрузка на вид расчетной схемы влияние оказывать не будет, а при определении напряжений ее можно учитывать на основании принципа суперпозиций.

Список литературы: 1. Гребеник В.М., Иванченко Ф.К., Ширяев В.И. Расчет металлургических машин и механизмов. К.: Выща шк. 1988. 448 с. **2.** Пиксаев А.В., Хребто В.Е., Бодяев Ю.А., Вдовин К.Н. Механизм качания кристаллизатора слябовых МНЛЗ. Конструирование и расчет. Магнитогорск: МГТУ, 2001. 87 с. **3.** Еланский Г.Н., Гончаревич И.Ф., Штурм К. Совершенствование кристаллизаторов современных МНЛЗ // Сталь. - № 2. - 2005. – С. 33-36. **4.** Сотников А.Л. Математическая модель и методика синтеза упругих элементов рессорного механизма качания кристаллизатора МНЛЗ / А.Л. Сотников, С.Н. Царенко // Вестник машиностроения. – 2017. – № 12. – С. 25-29. **4.** Шевченко Ф.Л., Царенко С.Н. Задачи по сопротивлению материалов. Изд. четвертое, ТОВ. «Цифрова типографія», 2009, 354 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ СОБСТВЕННЫХ ЧАСТОТ ВЕСОМОЙ БАЛКИ С ПРОИЗВОЛЬНЫМ КОЛИЧЕСТВОМ ДИСКРЕТНЫХ МАСС

Царенко С.Н., Языков М.И. *(КамчатГТУ, г. Петропавловск-Камчатский, Россия)*
Тел. +7 (4152) 300977; E-mail: Tsarenko_SN@kamchatgtu.ru

Abstract: *Bending vibrations of the beam, as systems with distributed and local parameters are considered. A combined approach using the initial parameter method and the force method is used to determine the natural frequencies. The proposed algorithm for solving the problem simplifies the process of compiling a frequency equation in contrast to existing methods. For example, the frequencies of bending vibrations of a weighted beam with three concentrated masses are found.*
Key words: *bending vibrations, natural frequencies, force method, weighted beam, system with distributed parameters.*

Для расчета ряда элементов строительных и машиностроительных сооружений, а также деталей машин используют системы с распределенными параметрами, т.е. системы с бесконечным числом степеней свободы. На первом этапе проведения динамического расчета данных конструкций стоит задача по определению спектра собственных частот. В учебной литературе по курсу сопротивления материалов [1, 2, 3] данный вопрос рассмотрен недостаточно полно, в основном он сводится к определению спектра собственных частот нескольких простых балочных схем, как систем с распределенными параметрами, далее следуют приближенные и упрощенные методы динамического расчета.

Весьма подробно рассмотрены задачи по нахождению частотных характеристик при продольных, крутильных и изгибных колебаниях, с использованием метода начальных параметров в научных и методических работах проф. Шевченко Ф.Л. [4,5,6,7]. Но и там практические расчеты ограничивались балками с двумя – тремя участками при наличии одной, двух сосредоточенных масс, что связано с большой трудоемкостью составления частотного уравнения методом начальных параметров. Большинство приближенных методов позволяют получить лишь первую частоту собственных колебаний, и не позволяют оценить значимость последующих частот. Таким образом, поиск новых методов составления частотных уравнений является актуальной научно-практической задачей.

Известно, что уравнение прогибов для произвольной формы колебаний по методу начальных параметров имеет вид [5]

$$y(x) = y_0 A_{kx} + \frac{\alpha_0}{k} B_{kx} + \frac{M_0}{k^2 EJ_z} C_{kx} + \frac{P_0}{k^3 EJ_z} D_{kx}. \qquad (1)$$

При наличии на весомой балке (рисунок 1, *а)*) сосредоточенной массы M_a в сечении $x = a$ нужно учесть силу инерции этой массы

$$P_u = M_a \omega^2 y_a = M_a \frac{k^4 EJ_z}{m} y_a \qquad (2)$$

в уравнении (2) слагаемым, аналогичным слагаемому, содержащему начальный параметр P_0, т.е. в (1) следует добавить

$$\frac{P_u}{k^3 EJ_z} D_{k(x-a)} \cdot e(x-a),$$

где $e(x-a)$ - единичная функция.

Заменив сосредоточенную массу неизвестной силой $X_1 = P_u$, мы получим систему эквивалентную заданной (рисунок 1, *б)*), таким образом, систему с распределенными параметрами, при наличии n сосредоточенных масс будем рассматривать, как n – *раз* статически неопределимую. При решении статических задач одним из наиболее эффективных способов раскрытия статической неопределимости является метод сил, используем аналогичный подход и к решению динамической задачи. В качестве основной системы будет

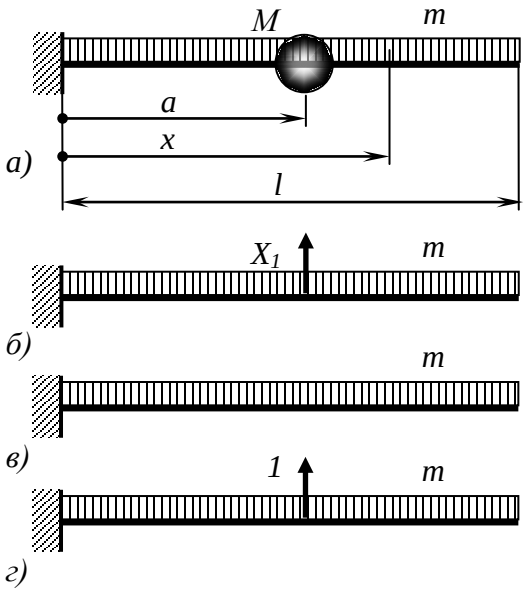


Рис. 1. Расчетная схема консольной балки

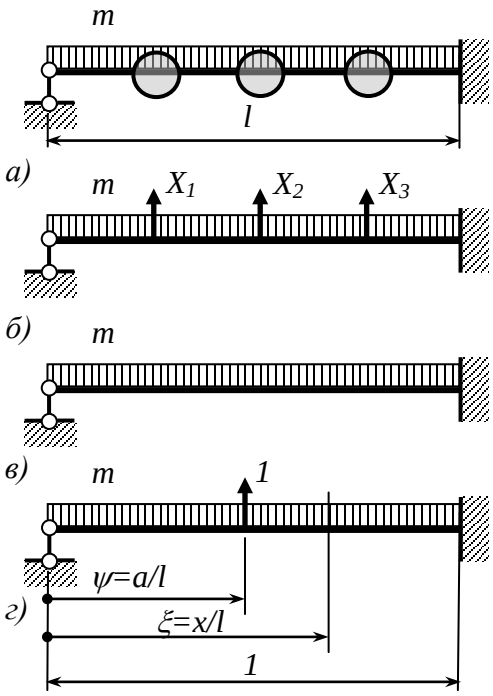


Рис. 2. Расчетная схема балки с тремя сосредоточенными массами

исходная система без наличия сосредоточенных масс (рисунок 1, *в)*), а для составления канонических уравнений воспользуемся не кинематическими условиями, а силовым соотношением $X_1 = P_u$, тогда

$$X_1 = M_a \frac{k^4 EJ_z}{m} y_a,$$

введем обозначения $\zeta = \frac{M_a}{ml}$, $\lambda = kl$, а прогиб y_a будем искать в виде $y_a = \frac{\delta_\lambda}{k^3 EJ_z Y_\lambda} X_1$, $\frac{\delta_\lambda}{k^3 EJ_z Y_\lambda}$ - перемещение сечения в котором приложена масса для схемы (рисунок 1, *г)*), Y_λ - функция соответствующая частотному уравнению для основной системы, подставив введенные обозначения, получим

$$X_1 = \zeta\lambda \frac{\delta_\lambda}{Y_\lambda} X_1, \qquad (3)$$

тогда частотное уравнение принимает вид

$$Y_\lambda - \zeta\lambda\delta_\lambda = 0.$$

Для практического примера возьмем исходные данные из задачи 12.7 [7]: балка из двутавра №20 длиной $l = 4$ м с погонной массой *m*=400 кг/м содержит три одинаковые сосредоточенные массы *M* =900 кг на равных расстояниях между опорами (рисунок 2, *а)*). Жесткость балки при изгибе задана - $EJ = 3{,}68 \cdot 10^6$ Нм^2. Заменив массы неизвестными силами X_1, X_2, X_3 (рисунок 2, *б)*), получим эквивалентную систему. На рисунок 2, *в)* представлена основная система. Приложим в основной системе единичную силу на произвольном расстоянии *a* от левой опоры и определим уравнения прогибов и углов поворота для сечения *x* по методу начальных параметров (рисунок 2, *г)*):

$$y(x) = \frac{\alpha_0}{k} B_{kx} + \frac{P_0}{k^3 EJ_z} D_{kx} + \frac{1}{k^3 EJ_z} D_{k(x-a)} e(x-a),$$

$$\alpha(x) = \alpha_0 A_{kx} + \frac{P_0}{k^2 EJ_z} C_{kx} + \frac{1}{k^2 EJ_z} C_{k(x-a)} e(x-a).$$

Начальные параметры α_0 и P_0 определим из условий закрепления правого конца балки ($y(l) = 0$, $\alpha(l) = 0$):

$$\alpha_0 = \frac{D_\lambda C_{\lambda(1-\psi)} - C_\lambda D_{\lambda(1-\psi)}}{k^2 EJ_z (B_\lambda C_\lambda - A_\lambda D_\lambda)}; \; P_0 = \frac{A_\lambda D_{\lambda(1-\psi)} - B_\lambda C_{\lambda(1-\psi)}}{B_\lambda C_\lambda - A_\lambda D_\lambda},$$

где, $\lambda = kl$, $\psi = \dfrac{a}{l}$ - относительная координата сечения приложения единичной силы, также учтем, что знаменатель в начальных параметрах соответствует частотному уравнению для основной системы $Y_\lambda = B_\lambda C_\lambda - A_\lambda D_\lambda$. Уравнение перемещений принимает вид

$$y(\xi) = \frac{\left(D_\lambda C_{\lambda(1-\psi)} - C_\lambda D_{\lambda(1-\psi)}\right)B_{\lambda\xi} + \left(A_\lambda D_{\lambda(1-\psi)} - B_\lambda C_{\lambda(1-\psi)}\right)D_{\lambda\xi} + Y_\lambda D_{k(\xi-\psi)} e(\xi-\psi)}{k^3 EJ_z Y_\lambda},$$

$$\text{или } y(\xi) = \frac{\delta_\lambda(\xi,\psi)}{k^3 EJ_z Y_\lambda},$$

где $\xi = \dfrac{x}{l}$ - относительная координата сечения, в котором ищем прогиб,

$$\delta_\lambda(\xi,\psi) = \left(D_\lambda C_{\lambda(1-\psi)} - C_\lambda D_{\lambda(1-\psi)}\right)B_{\lambda\xi} +$$
$$+ \left(A_\lambda D_{\lambda(1-\psi)} - B_\lambda C_{\lambda(1-\psi)}\right)D_{\lambda\xi} + Y_\lambda D_{k(\xi-\psi)} e(\xi-\psi).$$

Тогда с учетом условий задачи соответственно уравнению (3) получаем систему уравнений

$$\begin{cases} X_1 = \dfrac{\zeta\lambda}{Y_\lambda}\left(\delta_\lambda(0.25,0.25)X_1 + \delta_\lambda(0.25,0.5)X_2 + \delta_\lambda(0.25,0.75)X_3\right) \\ X_2 = \dfrac{\zeta\lambda}{Y_\lambda}\left(\delta_\lambda(0.5,0.25)X_1 + \delta_\lambda(0.5,0.5)X_2 + \delta_\lambda(0.5,0.75)X_3\right) \\ X_3 = \dfrac{\zeta\lambda}{Y_\lambda}\left(\delta_\lambda(0.75,0.25)X_1 + \delta_\lambda(0.75,0.5)X_2 + \delta_\lambda(0.75,0.75)X_3\right). \end{cases}$$

Приравняв определитель системы нулю, получаем частотное уравнение

$$\begin{vmatrix} Y_\lambda - \zeta\lambda\delta_\lambda(0.25,0.25) & -\zeta\lambda\delta_\lambda(0.25,0.5) & -\zeta\lambda\delta_\lambda(0.25,0.75) \\ -\zeta\lambda\delta_\lambda(0.5,0.25) & Y_\lambda - \zeta\lambda\delta_\lambda(0.5,0.5) & -\zeta\lambda\delta_\lambda(0.5,0.75) \\ -\zeta\lambda\delta_\lambda(0.75,0.25) & -\zeta\lambda\delta_\lambda(0.75,0.5) & Y_\lambda - \zeta\lambda\delta_\lambda(0.75,0.75) \end{vmatrix} = 0.$$

Первые четыре корня этого уравнения будут: $\lambda_1 = 2{,}906$; $\lambda_2 = 3{,}508$; $\lambda_3 = 5{,}444$; $\lambda_4 = 6{,}999$, соответствующие им частоты $\omega_n = \dfrac{\lambda_n^2}{l^2}\sqrt{\dfrac{EJ_z}{m}}$: $\omega_1 = 50{,}625\,\text{с}^{-1}$; $\omega_2 = 73{,}772\,\text{с}^{-1}$; $\omega_3 = 177{,}678\,\text{с}^{-1}$; $\omega_1 = 293{,}661\,\text{с}^{-1}$. Частота, найденная по упрощенному методу для заданной схемы [7] $\omega = 49{,}08\,\text{с}^{-1}$. Погрешность составляет 3,05%, что приемлемо. Но из расчета видно, что вторая частота достаточно близка к первой, таким образом, замена данной схемы одномассовой является весьма грубым упрощением. Аналогичный подход, составляя смешанные силовые и кинематические соотношения можно использовать для решения простейших рамных конструкций.

Список литературы: 1. Беляев Н.М. Сопротивление материалов. – М.: ГИТТЛ, 1958. – 856 с. **2.** Феодосьев В.И. Сопротивление материалов. – М.: Наука, 1970. – 544 с. **3.** Посацький С.Л. Опір матеріалів. – Львів: Видавництво Львівського університету, 1973. – 403 с. **4.** Шевченко Ф.Л. Механика упругих деформируемых систем, часть 3. Динамическое воздействие нагрузок.- Киев: УМК ВО, 1993. – 188 с. **5.** Шевченко Ф.Л. Динамика упругих стержневых систем.- Донецк: ООО «Лебедь», 1999. – 268 с. **6.** Шевченко Ф.Л. Оценка точности упрощенного динамического расчета систем с распределенными параметрами на примере однопролетной жестко защемленной балки с консолью / Ф.Л. Шевченко, С.Н. Царенко // Автоматизація виробничих процесів у машинобудуванні та приладобудуванні. - 2011. – Вып. 45. – С.159–167. **7.** Шевченко Ф.Л. Задачі з опору матеріалів / Ф.Л. Шевченко, С.М. Царенко. – Донецьк: ФОП Бабалік А.В., 2011. – 356 с.

УТОЧНЕННЫЕ ОЦЕНКИ СОДЕРЖАНИЯ OH- И NO-РАДИКАЛОВ В РЕАКТИВНЫХ ВЫБРОСАХ СОВРЕМЕННЫХ РАКЕТ-НОСИТЕЛЕЙ

Цымбалов Д.С., Яценко О.В. *(ДГТУ, г. Ростов-на-Дону, Россия)*
Тел: +7 (951) 8475165; E-mail: oleg_v_yatcenko@mail.ru

Abstract: *New scientific estimations for rocket-produced ozone hole characteristics are proposed. Based on mathematical programming this approach is purposed at modern rocket carriers. Few results of associated computer experiments show that ozone hole parameters are to be more rigorously evaluated.*

Содержащиеся в реактивных выбросах жидкотопливных ракет-носителей (РН) радикалы OH и NO являются главными разрушителями стратосферного озона. Выполненные ранее оценки масштаба и времени существования озоновой дыры [1] относились к основной ракете прошлых десятилетий «Протон». Острая конкуренция на рынке космических запусков привела к тому, что в настоящее время для этих целей используется постоянно расширяющаяся номенклатура носителей различных классов. Это обстоятельство вновь актуализовало оценки экологичности средств космической доставки, причем уже в сравнительном ключе. Поэтому целью выполненного авторами исследования являлось сопоставление токсических (для озоносферы) характеристик как всех используемых в настоящее время, так и вновь создаваемых РН.

Основу расчета погонной плотности [OH](H) и [NO](H) в реактивном следе составляют две известные модели (здесь H – высота над уровнем моря). Первая предложена в работе [1] и унифицирует разгонную динамику РН, а вторая представляет собой реализацию традиционного в отечественной науке подхода к расчету равновесного состава продуктов сгорания путем минимизации термохимического потенциала. Новизна описываемой разработки состоит в том, что путем разумного варьирования температуры и давления в камере сгорания выбирались условия, обеспечивающие наибольшие значения [OH] и [NO]. Кроме того, вследствие математической специфики соответствующей оптимизационной задачи, в расчетах оценивалась погрешность определения [OH] и [NO]: для этого все вычисления выполнялись встроенными средствами различных математических пакетов.

В современная ракетной технике используются жидкие топлива, приведенные в табл. 1.

Таблица 1. Компоненты жидких ракетных топлив, используемых в современной ракетной технике (в ячейках следует указать марку ракеты и двигателя)

Окислитель / Топливо	O_2	$N_2O_4 + HNO_3$
H_2	Saturn V, SLC, Ariane 5	
CH_4	SpaceX	
$C_{7.2}H_{13.3}$	Falcon 9, Союз	
N_2H_4		Ariane 5
$N_2H_2(CH_3)_2$		Протон, PSLV, Fregat

Соответствующие приведенным топливным парам реакции горения при стехиометрическом соотношении топлива и окислителя имеют вид:

$$2\ H_2 + O_2 \rightarrow 2\ H_2O\ , \qquad (1)$$

$$0.0950\ C_{7.2}H_{13.3} + O_2 \rightarrow 0.684\ CO_2 + 0.632\ H_2O\ , \qquad (2)$$

или приближенно

$$4\ C_7H_{13} + 41\ O_2 \rightarrow 28\ CO_2 + 26\ H_2O\ , \quad (3)$$

$$N_2H_2(CH_3)_2 + 2\ N_2O_4 \rightarrow 2\ CO_2 + 4\ H_2O + 3\ N_2\ , \quad (4)$$

$$5\ N_2H_2(CH_3)_2 + 16\ HNO_3 \rightarrow 10\ CO_2 + 28\ H_2O + 13\ N_2\ . \quad (5)$$

Если горение в ЖРД осуществляется не при стехиометрическом соотношении топлива и окислителя, а топливо берется с «избытком» в α раз (величина α удовлетворяет двойному неравенству $0 < \alpha < 1$), стехиометрические уравнения полного сгорания (1)-(5) приобретают более общий вид:

$$2\ H_2 + O_2 \rightarrow 2\ H_2O + 2(\alpha - 1)\cdot sign(\alpha - 1)\ H_2 + (1 - \alpha)\cdot sign(1 - \alpha)\ O_2\ , \quad (6)$$

$$4\alpha\ C_7H_{13} + 41\ O_2 \rightarrow 4(\alpha - 1)\cdot sign(\alpha - 1)\ C_7H_{13} + 28(1 - \alpha)\cdot sign(1 - \alpha)\ CO_2 + 26(1 - \alpha)\cdot sign(1 - \alpha)\ H_2O \quad (7)$$

и т.д.

Важную роль в постановке оптимизационной задачи для равновесного состава продуктов сгорания играет выбор химического базиса, т.е. набора веществ, который адекватно отражает реальный химизм процесса.

Чтобы иметь возможность численного анализа модели, ограничимся наиболее вероятными компонентами [1]. Таковыми являются частицы, содержащие до пяти атомов H, O, C и N и характеризующиеся минимальным удельным (на один атом) химическим потенциалом в условиях горения в ЖРД. Состав и основные термохимические характеристики такого базиса приведены в табл. 2.

Таблица 2. Базовый состав продуктов сгорания жидких ракетных топлив с соответствующими термохимическими параметрами

N пп.	Химическая формула вещества	*H*, кДж/моль	*S*, Дж/моль·К	C_P, Дж/моль·К
1	CO	-110.6	197.7	29.1
2	O	249.2	161.0	21.9
3	CO_2	-393.8	213.8	37.1
4	O_2	0	205.0	29.4
5	NO	90.3	210.7	29.9
6	OH	33.5	183.9	29.8
7	H	218.3	114.8	20.8
8	H_2O	-242	190.0	33.5
9	H_2	0	130.6	28.8
10	N_2	0	191.5	20.1

Приведем пример модельного расчета: рассматривается условный ЖРД, использующий кислород-водородную пару в стехиометрическом соотношении и характеризующийся температурой в камере сгорания 2000 – 3000 К при давлении 20 – 50 атм. После выполнения расчета [OH](*T, P*) с шагом 100 К по температуре и 5 атм по давлению (решение оптимизационной задачи [2] осуществлялось средствами Excel) результат аппроксимировался многочленом двух переменных. Полученная приближенная зависимость имеет вид:

$$\lg[OH] = -11.4 - 0.0182\ P + 0{,}00559\ T + 0.000198\ P^2 - 9.8\cdot10^{-7}\ P\ T - 7.5\cdot10^{-7}\ T^2\ . \quad (8)$$

О точности аппроксимации (8) позволяют судить данные представленные на рис. 1.

p T	2000	2200	2400	2600	2800	3000
20	-0,067196322	0,015042269	0,007581	-0,02236215	-0,02909	0,009904
25	0,01380022	0,080502685	0,050513	0,045391374	0,040539	0,060084
30	0,00506437	-0,020855162	-0,02366	-0,04838959	-0,05067	-0,05272
35	-0,048267852	0,018937139	-0,00486	-0,02788237	-0,05014	-0,00529
40	0,011381409	0,012808205	0,014475	-0,00675172	-0,00465	0,020931
45	0,050496376	0,030353842	0,03438	0,015023717	0,019469	0,024175
50	-0,049496948	0,001209459	-0,01554	-0,03178028	-0,02534	0,027616

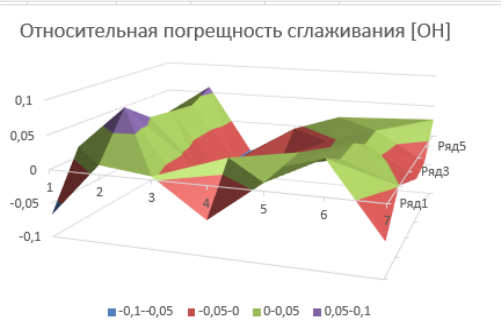


Рис. 1. Относительная погрешность определения [OH] по соотношению (8)

Средняя величина относительной погрешности составляет 2,8 %, что приемлемо для наших целей. Анализ значимости эмпирических коэфицентов многочлена (8) свидетельствует о слабой зависимости lg[OH] от давления, т.е. формулу (8) можно упростить до

$$\lg[OH] = -11.4 + 0{,}00559\,T - 7.5\cdot10^{-7}\,T^2, \qquad (9)$$

погрешность которой по сравнению с (8) составляет примерно 30 %. Аналогичные расчеты выполнялись в пакете MathCad. Результаты сопоставлены на рис. 2.

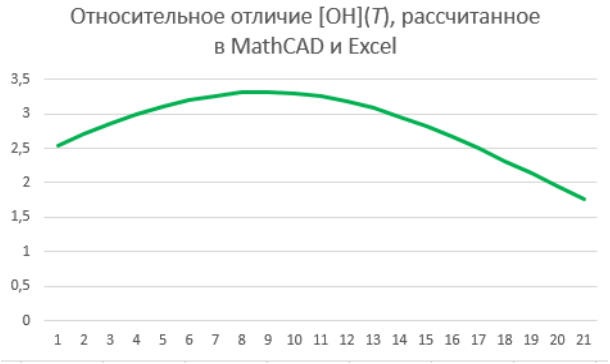


Рис. 2. Относительная погрешность определения [OH](*T*)

Результаты выполненных авторами исследований сводятся к следующему:

- еонцентрация [OH] сильно зависит от температуры и практически не зависит от давления;
- с ростом температуры в камере сгорания выход OH резко увеличивается;
- алгоритмы, заложенные в Excel, дают примерно в 2-2.5 раза больше значения [OH] по сравнению с решателем MathCAD;
- верхней оценкой для [OH] в кислородно-водородном двигателе (при стехиометрическом составе компонентов) служит величина 1,5%, что более чем на порядок превышает имеющиеся в литературе оценки.

Список литературы: 1. Бакулин В.Н., Ладоша Е.Н., Месхи Б.Ч. и др. Научные основы защиты озонового слоя стратосферы в условиях освоения космического пространства при помощи ракет на химическом топливе. – Ростов н/Д.: Изд-во ДГТУ, 2009. – 188 с. **2.** Тарасов В.Н., Бахарева Н.Ф. Математическое программирование. Теория, алгоритмы, программы. – Самара: РИЦ «Гольфстрим», 2007. – 222 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ НАКЛОНА ИНСТРУМЕНТА В ТЕХНОЛОГИЧЕСКОМ РОТОРЕ С НАКЛОННОЙ ПЛАНШАЙБОЙ

Чернышев Е.А., Захарченко Н.А. *(ДонНТУ, г. Донецк, ДНР)*
E-mail: chernyshev81@mail.ru

Abstract: *This brief sketch deals with one special case of a processing method to press wire products in rotor machines without mechanism of the stroke. Such negative factors as tool tilt angles are calculated. It is shown that they are small, so this processing scheme can be used in principle.*

Keywords: *rotor, processing, pressing.*

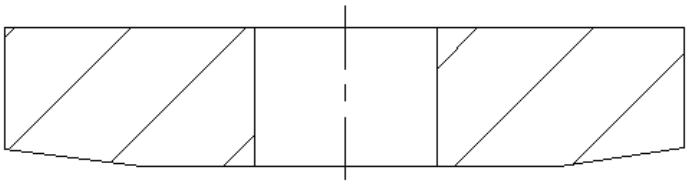


Рис. 1. Схема несущей планшайбы технологического ротора

Для обработки давлением на роторных машинах [1] можно использовать планшайбу (рис.1), наклоненную под малым углом к горизонтальной плоскости, на конической поверхности которой по окружности установлены пуансоны.

Конструкция технологического ротора с наклонной шайбой была впервые предложена довольно давно [2]. Шайба рассматривалась как средство сообщения движения возвратно-поступательно перемещающимся ползунам, приводимым в движение через качающиеся шатуны. Установка же пуансонов непосредственно на конической поверхности планшайбы практически замещает блок технологического воздействия как отдельный механизм ротора, поскольку за счет наклона планшайбы пуансоны будут совершать относительно заготовок вертикальное перемещение, т.е рабочий ход. Однако при такой обработке будет иметь место наклон пуансонов относительно горизонтальной плоскости, ведь относительно оси каждой рабочей позиции ротора ось вращения планшайбы, а вместе с нею и пуансоны, будет совершать регулярную прецессию.

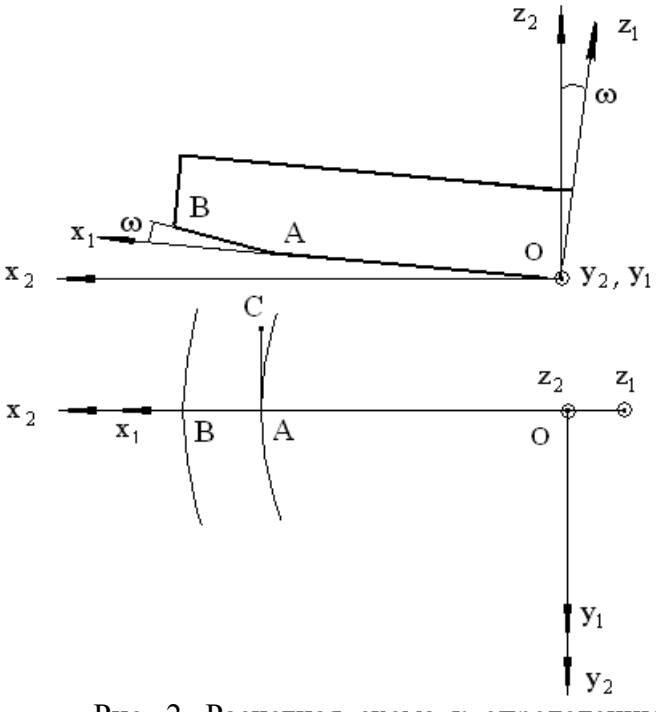


Рис. 2. Расчетная схема к определению углов наклона инструмента

Определим, как изменяется угол наклона торца пуансона к горизонтальной плоскости при вращении ротора. Для этого используем кинематику регулярной прецессии в относительных движениях. Если связать наклонную планшайбу с системой координат $Ox_2y_2z_2$, а систему $Ox_1y_1z_1$ считать неподвижной (рис. 2), то связь между координатами в относительных движениях определяется уравнениями [3]:

$$\left.\begin{aligned} x_2 &= x_1(1-2\cos^2\psi\sin^2\frac{\omega}{2}) - y_1\sin 2\psi\sin^2\frac{\omega}{2} + z_1\cos\psi\sin\omega, \\ y_2 &= -x_1\sin 2\psi\sin^2\frac{\omega}{2} + y_1(1-2\sin^2\psi\sin^2\frac{\omega}{2}) + z_1\sin\psi\sin\omega, \\ z_2 &= -x_1\cos\psi\sin\omega - y_1\sin\psi\sin\omega + z_1\cos\omega, \end{aligned}\right\} \quad (1)$$

где ω - угол перекоса осей валов ротора и планшайбы (угол нутации), ψ - угол, равный углам прецессии и собственного вращения.

Разделим угол наклона пуансона на две составляющие: в радиальной и касательной плоскостях. Радиальной назовем плоскость, проходящую через радиус начальной окружности ротора перпендикулярно плоскости начальной окружности (плоскость x_2Oz_2); касательной назовем плоскость, перпендикулярную начальной окружности ротора и имеющую с ней одну общую точку(плоскость, проходящая через точки *A, C* и параллельная плоскости y_2Oz_2). Обозначим эти углы $\gamma_p, \gamma_к$ соответственно.

Тогда угол наклона в радиальной плоскости найдем из воображаемого прямоугольного треугольника с гипотенузой *AB*, угол наклона которой и есть искомый угол:

$$tg\gamma_p = \frac{z_{2B} - z_{2A}}{\sqrt{(x_{2B} - x_{2A})^2 + (y_{2B} - y_{2A})^2}}, \quad (2)$$

где x_{2B}, x_{2A}, y_{2B}, y_{2A}, z_{2B}, z_{2A} - координаты точек *A, B* в системе координат $Ox_2y_2z_2$.

В соответствии с рис. 2 запишем уравнения координат, входящих в выражение (2), через уравнения (1):

$$x_{2A}(\psi) = x_1\left(1-2\cos^2\frac{\omega}{2}\right),$$

$$x_{2B}(\psi) = (x_1 + z_1 ctg\omega)\cdot\left(1-2\cos^2\frac{\omega}{2}\right) + z_1\sin\omega\cos\psi,$$

$$y_{2A}(\psi) = -x_1\sin^2\frac{\omega}{2}\sin 2\psi,$$

$$y_{2B}(\psi) = -(x_1 + z_1 ctg\omega)\sin^2\frac{\omega}{2}\sin 2\psi + z_1\sin\omega\sin\psi,$$

$$z_{2A}(\psi) = -x_1\sin\omega\cos\psi,$$

$$z_{2B}(\psi) = -(x_1 + z_1 ctg\omega)\sin\omega\cos\psi + z_1\cos\psi.$$

Подставляя эти выражения в формулу (2), получим итоговую зависимость:

$$tg\gamma_p = \frac{\cos\omega(1-\cos\psi)}{\sqrt{\left(ctg\omega\left\{1-2\cos^2\frac{\omega}{2}\right\} + \sin\omega\cos\psi\right)^2 + \left(\sin\omega\sin\psi - ctg\omega\sin^2\frac{\omega}{2}\sin 2\psi\right)^2}}.$$

Угол наклона в касательной плоскости найдем из воображаемого прямоугольного треугольника с гипотенузой *AC*, угол наклона которой и есть искомый угол:

$$tg\gamma_к = \frac{z_{2C} - z_{2A}}{\sqrt{(x_{2C} - x_{2A})^2 + (y_{2C} - y_{2A})^2}}, \quad (3)$$

где x_{2C}, y_{2C}, z_{2C} - координаты точки *C* в системе координат $Ox_2y_2z_2$:

$$x_{2C}(\psi) = x_1\left(1-2\cos^2\frac{\omega}{2}\right) - y_1\sin 2\psi;$$

$$y_{2C}(\psi) = -x_1 \sin^2 \frac{\omega}{2} \sin 2\psi + y_1 \left(1 - 2\sin^2 \psi \sin^2 \frac{\omega}{2}\right);$$

$$z_{2C}(\psi) = -x_1 \cos\psi \sin\omega - y_1 \sin\omega \sin\psi .$$

Подставляя эти выражения в формулу (3), получим итоговую зависимость:

$$tg\gamma_к = \frac{-\sin\omega \sin\psi}{\sqrt{\sin^2 2\psi + \left(1 - 2\sin^2 \psi \sin^2 \frac{\omega}{2}\right)^2}}.$$

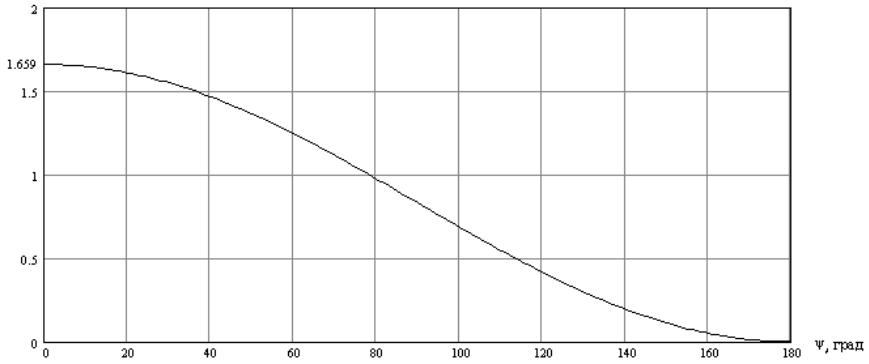


Рис. 3. Зависимость угла наклона пуансона в радиальной плоскости, град, от угла поворота ротора

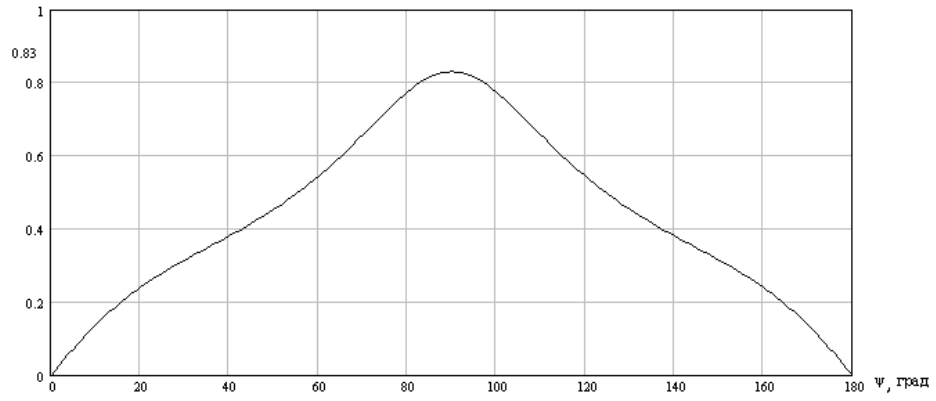


Рис. 4. Зависимость угла наклона пуансона в касательной плоскости, град, от угла поворота ротора

Геометрические расчеты показывают, что для высадки, например, конической головки диаметром 5 мм и высотой 2 мм угол нутации ω при диаметре планшайбы 500 мм составляет 0º50'. Графики изменения углов для этого случая приведены на рис. 3, 4. Рассматривается пол-оборота ротора, когда углы уменьшаются, то есть производится высадка.

Приведенные графики иллюстрируют тот факт, что угол наклона пуансона в обеих плоскостях уменьшается до нуля к окончанию высадки. В радиальной плоскости он уменьшается от двойного угла нутации до нуля, в касательной достигает максимума – угла нутации за четверть оборота до окончания обработки. Наклон пуансона является негативным фактором, ухудшающим качество обработки, но его небольшие значения позволяют считать данную схему обработки принципиально осуществимой.

Список литературы: 1. Кошкин Л. Н. Роторные и роторно-конвейерные линии. - М.: Машиностроение, 1986. - 320 с. **2.** И.Ф. Корнюхин, М.Д. Власов. Силовые передаточные функции технологического ротора с наклонной шайбой/ Автоматизация технологических процессов. Сб. научн. трудов. – Тула: Тульский политех. ин-т, 1980. Вып. 3. С. 68-75. **3.** Михайлов А. Н. Основы синтеза поточно-пространственных технологических систем. - Донецк: ДонНТУ, 2002. - 379 с.

МАЛОЗАТРАТНОЕ ПРОИЗВОДСТВО КОНКУРЕНТНОЙ ПРОДУКЦИИ

Шабайкович В.А., Григорьева Н.С.
(Луцкий национальный технический университет, г.Луцк, Украина)
Тел./Факс: +38 (063) 7141115; E-mail: vik_shabajkin@ukr.net

Abstract: *The essence of the lean production of high-quality and competitive products by enterprises with the rational use of all resources is revealed. The formation of product quality, competitiveness, associated costs are described. The indicators obtained due to the directed formation of properties are used in the design, technological and organizational preparation of products in lean manufacturing.*

Key words: *low cost, production, factors, quality, competitiveness, cost.*

1. Введение. Малозатратное или бережливое производство (*Lean Production*) [1] обеспечивающие изготовление качественной и конкурентной продукции при минимальных затратах, имеет большое значение особенно в коронавирусном и после вирусном периодах. Исторически сложилось так, что в силу объективных и субъективных причин на Украине использовалось затратное устарелое производство низкокачественной продукции. Зная и проанализировав причины этого, можно определиться с необходимыми мерами по их устранению, наметить конкретные задачи и мероприятия по улучшению отечественного производства. За время существования независимости все руководство в основном занималось обогащением, к тому же и воровством, что подтверждается «*нажитыми непосильным тяжелым трудом*»? их состояниями. Где уж тут до производства, тем более малозатратного? В результате их многолетней «*деятельности*» Украина постоянно занимает последние места в рейтингах стран мира по полезным показателям, но зато первые - по отрицательным.

Цель статьи: повышение эффективности производства промышленности и экономики в коронавиросный период за счет внедрения малозатратного производства.

Основной текст. На эффективное функционирование малозатратного производства [2] конкурентной продукции влияют как внутренние, так и внешние факторы. Внутренние факторы возникают в самой производственной системе, а внешние – являются результатом воздействия внешней среды, которые также влияют на внутренние, поскольку производство является основной частью экономики, которая почему-то стала сильно заполитизированной, что также плохо на нее повлияло. Зная и проанализировав эти причины, можно определиться с необходимыми мерами по их устранению, наметить конкретные задачи и мероприятия по улучшению отечественного производства. Системный подход позволил выделить: формирование качества продукции, ее конкурентности, организацию малозатратного производства, сопровождающих затрат.

Качество, конкурентность и затратность производства, да и экономика, являются взаимосвязанным целым и поэтому проблема их улучшения должна решаться совместно и с применением системного подхода. Качество является базой конкурентности продукции, обеспечиваемое в производстве как за счет качества элементов, так и современности материально-технической базы изготовления, специализации и кооперации, особенно организации производства, обеспечение квалифицированным персоналом. Качество продукции является главным элементом ее конкурентности. Обеспечение качества при конструкторской, технологической и организационной разработке в производстве продукции является одними из самых сложных вопросов, позволяющих получить дополнительный экономический эффект малозатратного производства.

Все показатели качества изделий формируются не только на протяжении всего производственного процесса изготовления, но также и до его начала, к примеру, влияние материалов, комплектующих изделий и т.п. Поэтому для полноты модели формирования ка-

чества изделий необходимо рассматривать четыре этапа: конструкторский, технологический, организационный и эксплуатационный, на которых формируются отдельные показатели качества за счет свойств конструкции деталей и узлов, их технологических свойств. На первом этапе за счет влияющих факторов деталей и сборочных узлов формируются показатели качества конструкции изделия. Это превалирующий этап и его можно считать основным, начальным. На технологическом этапе при реализации технологических процессов изготовления продукции, достигнутые величины показателей качества материализуются в реальных деталях, узлах и изделиях. Важными будут и организационные факторы, которые способствуют обеспечению высоких показателей качества изделий через оптимальную организацию работ на всех этапах. И, наконец, эксплуатационный этап, организационные факторы которого также оказывают большое влияние на показатели качества изделий. Во-первых, это относится к сохранению полученного уровня качества при эксплуатации изделий, работе технологического оборудования и оснастки. Во-вторых, это эффект обратной связи влияния результата эксплуатации на конструкцию изделий, технологию изготовления и сборку, который в настоящее время недостаточно полно используется. Некоторые предприятия ошибочно считают производственный процесс окончанием своей работы, а эксплуатацию выпущенных изделий не прослеживают, лишая себя эффективных рычагов повышения качества и конкурентности изготавливаемых изделий.

Направленное формирование свойств, определяющих качество продукции, является комплексом активных конструкторских, технологических и других мероприятий, обеспечивающих формирование заданных показателей качества и соответствующих эксплуатационных свойств изделия. Изучение фундаментальных закономерностей взаимодействия и взаимовлияния свойств деталей значительно уменьшает влияние случайных факторов, сужает поле рассеивания величин показателей качества, что способствует повышению качества изделий. Формирование свойств продукции и его деталей можно представить, как процесс взаимодействия предмета производства с технологической и окружающей средой, которые являются носителями механизма наследования и трансформации свойств изделий. Может быть создана оптимальная технологическая среда, в которой и будут формироваться фактические свойства. Такое обеспечение формирования свойств деталей базируется на том, что свойства детали определяются свойствами исходных материалов и формирующей технологической среды сквозного процесса изготовления, учитывающего структурно-параметрический характер такого взаимодействия. Заданные свойства определяются в зависимости от конструкционно-технологических параметров изделий с учетом условий их эксплуатации.

Применение логистического подхода является эффективной новой концепцией управления, что характеризуется системным рассмотрением, при котором ориентируются не на фрагменты или функциональные элементы отдельно, а на единое целое. Предусматривается осуществление процесса с помощью функций логистики, выполняемые в логистических потоках системы. Логистическими потоками считаются материальные, информационные, энергетические, человеческие, финансовые, которые взаимосвязаны и взаимодействующие между собой. Функциями логистического управления являются тактика логистики, организация, планирование, управление, вычисление, контролинг, передача, обслуживание, сервис. Возможный инструмент решения может быть системно установленным через соотношение связей, а также зависимостей при определении оптимальных показателей качества продукции в заложенных условиях с наименьшими сопутствующими затратами. При решении учитываются все логистические функции, а не некоторые зависимости, как при традиционном управлении. Поэтому концепция логистики при определении показателей продукции должна охватывать значительную часть производственной сферы, но при сохранении иерархической функциональной дифференциации, в результате которой и строится структура логистиче-

ской системы. Возможности получения конкурентных преимуществ, благодаря логистике, заключаются в индивидуальном обслуживании, стратегии канала дистрибуции, интеграции производства, углублении специализации, изменении приоритетов, формировании потенциала, которая дает возможность получить дополнительную прибыль.

Применение направленного формирования свойств, определяющих качество изделий, сейчас редко используется в производстве, хотя обеспечивает высокое качество изделий с минимальными затратами. Такое положение частично оправдывается тем, что целый ряд вопросов требует дополнительных теоретических и экспериментальных исследований, на проведение которых отсутствует финансирование, да и нет времени. Таким образом, обеспечение качества продукции при малозатратном изготовлении решается одновременно с другими вопросами производства, особенно конкурентности и затратности при условии новизны и современности выпускаемой продукции.

Концепция **конкурентности** продукции заключается в быстром изготовлении на современном оборудовании определенной номенклатуры высококачественной современной продукции в соответствии с запросом рынка с малыми производственными и внепроизводственными затратами, обоснованной ценой и дешевой эксплуатацией. Короче - это быстрее, качественнее, дешевле и долговечнее! Сущность концепции конкурентости состоит: в быстром реагировании на спрос; применении принципов гибкости изменения номенклатуры продукции; максимизации показателей качества на основании высоких ее стандартов; минимизации всех видов затрат, в том числе эксплуатационных; применении инновационных технических и других решений, их экономической и технической обоснованности; оптимизации организации всех видов применяемых основных и вспомогательных процессов; потенциальном уменьшении неэффективных этапов движения продукции при изготовлении; ограниченности промежуточных звеньев как на этапах изготовления продукции, так особенно ее реализации; способности адаптации в условиях неопределенности; развитии сервиса; лидерстве на рынке; гуманизации производственных, рыночных и потребительских процессов.

Изучение конкурентности должно начинаться с выявления и изучения ее структуры (рис.1). В общем, структура конкурентности опирается на четыре элемента: *каче*

Рис.1. Структура конкурентности продукции

ство - затраты - цена - эксплуатация. Качество продукции оценивается показателями качества материалов, деталей, узлов, комплектующих, изделия и всех элементов в целом. При невысоких показателях, которые пока присущи большинству нашей продукции, надеяться на нее конкурентность бесполезно. Поэтому необходимо будет ориентироваться на такие рынки, где она будет иметь какой спрос и это однозначно не европейские или американские рынки.

Переходя на модульный уровень, характерный будущему компьютерно-интегрированному производству, базовую модель конкурентности можно представить рядом модулей. Подготовительный модуль полностью решает вопросы маркетинга и выбора прототипа продукции. Проектный модуль закрывает вопрос как конструкции изделий, структуры процессов, или услуг, так и разработку нужного технологического и вспомогательного оборудования и оснастки. Технологический модуль формирует или подбирает необходимые технологические процессы изготовления продукции, организационный - решает организацию производства. Производственный модуль отвечает за подготовку и функционирование производства в целом. Экономический модуль обосновывает принятые технические решения. Свою прямую задачу решают экологический (загрязнение среды, влияние на биосферу и т.д.) и эргономичный (взаимосвязи системы человек - машина) модули. В психологическом модуле рассматривается совокупность факторов, определяющих психологическое состояние участников производственного процесса. Известны задачи и эксплуатационного модуля, определяющие показатели эксплуатации продукции. Поэтому единственным путем улучшения конкурентности будет: повышение качества, снижение всех видов затрат и обоснованная цена.

Значительную роль в обеспечении конкурентности продукции занимает предпринимательство как самостоятельная, инициативная, систематическая, проводимая на собственный риск производственная деятельность. Здесь отображается особый тип хозяйствования по новаторским способностям и получением успеха на основе инновационной деятельности, где имеются лучшие условия для обеспечения выпуска высококачественной и конкурентной продукции, чем при традиционном производстве. Стратегия производственного предпринимательства заключается в принятии обоснованных, долгосрочных мероприятий в сфере производства, а тактика - в методах, способах и формах достижения поставленных краткосрочных целей стратегии. Стратегия и тактика построены на применении концепций менеджмента и маркетинга с целью получения наибольшей прибыли.

Отмечается влияние информатики в малозатратном производстве на конкурентность как продукции, так и предприятий. Информационное обеспечение конкурентности заключается в создании информационной системы, освещающей инфраструктуру производства, технологии конкуренции, виды обеспеченности, ресурсы, маркетинг, сбыт и другие, направленные на повышение конкурентности.

Нормативное обеспечение управления качеством и конкурентностью продукции должно осуществляться законодательно-нормативной документацией. Базой нормативного обеспечения выступают международные стандарты серии ISO, старые ГОСТы СССР и их переводы в государственные стандарты *Украины* ДСТУ. Таким образом, для обеспечения фундамента конкурентности продукции и предприятий в малозатратном производстве необходимо в первую очередь упорядочить, а вернее разработать внутренние меры, действующие на предприятии (получение качественных конструкций изделий, технологии их изготовления, оборудования с оснащением, организации производства, квалификации персонала и т.д.). Особое внимание должно быть уделено общей стратегии и тактике конкурентности, по которым будут разработаны конкретные мероприятия для отдельных отраслей и производственных подразделений.

Однако, чтобы повышать конкурентность, необходимо иметь качественную продукцию. Сейчас по странным и непонятным причинам такие производственные гиганты как Моторсич, ПО Южмаш, Харьковский и Киевский авиазаводы и многие другие, дающие стране валюту, перестали выпускать свою традиционную качественную продукцию, заменив ее ширпотребом или вообще свернув производство. Это был окончательный удар по конкурентности, потребующий длительного восстановления.

Затраты являются главным при обеспечении выпуска конкурентной продукции в малозатратном производстве [2], которыми следует управлять. К комплексным общепроизводственным затратам относятся: затраты на управление производством; по амортизации основных средств и нематериальных активов общепроизводственного назначения; затраты на операционную аренду основных средств производственного назначения и роялти (платежи на право использования информации по промышленному опыта – «*ноу-хау*», компьютерных программ и других объектов промышленной собственности); затраты на ремонт собственных и арендованных основных средств общепроизводственного назначения; затраты на эксплуатацию собственных и других арендованных основных средств общепроизводственного назначения в обслуживающих производственных процессах; затраты на совершенствование технологии и организацию производства; расходы на страхование имущества, риски деятельности; другие общепроизводственные затраты. Источником всех затрат является квалификация персонала, профессиональная деятельность и отношение к обеспечению качества продукции. Главным является то, что качество должно создаваться на всех этапах изготовления продукции при минимизации необходимых затрат. Большим недостатком в этом направлении среди других является пока отсутствие использования информационно-коммуникационных технологий.

Управление затратами производства предусматривает взаимосвязанный комплекс работ, которые формируют сокращенные затраты при изготовлении качественной продукции. Управление затратами должно носить не фрагментарный, а комплексный и системный характер. Система управления затратами должна предусматривать: нормирование затрат ресурсов, контроль за уровнем затрат, учет и анализ затрат, определение их влияния на результаты деятельности предприятия, поиск и выявление факторов, влияющих на экономию всех видов ресурсов предприятия, формирование действенной системы мотивации работников по контролю и уменьшению расходов, материальное стимулирование экономии ресурсов и снижения затрат. При этом должны выполняться все мероприятия, направленные на уменьшение затратности производства, но не за счет снижения качества продукции. Много полезного дает компьютерное сопровождение затрат всех производственных и технологических процессов. Основными резервами снижения затрат предприятий являются: расширение специализации и кооперации, уменьшение трудовых затрат, увеличение производительности труда, рациональное использование материальных ресурсов, соблюдение строгого режима экономии на всех этапах изготовления продукции, непрерывность поставок материальных ресурсов, сокращение затрат на обслуживание производства и управление, оптимизация затрат на транспортировку, хранение запасов и продукции и т.п. В основе существенного уменьшения затрат лежат не системы управления затратами, а в первую очередь малозатратная продукция и высокоэффективная технология ее изготовления.

Сложностью управления затратами является их динамизм, т.е. постоянное движение, многообразие, трудность измерения, учета, оценки, сложность и противоречивость влияния на экономический результат и другие. В зависимости от объектов управления можно выделить системы: управления производственными процессами, материально-техническими ресурсами, персоналом и т.п. У предприятия всегда имеются резервы снижения затрат, о чем свидетельствует зарубежный опыт. Объектом управления затратами выступают все затраты производства, процесс их формирования и снижения.

Субъектами управления затратами являются руководители, специалисты предприятия и производственных подразделений, т. е. управляющая система. Таким образом, система управления затратами - это целевая, многоуровневая система, где объектом управления являются затраты предприятия, а субъектом - управляющая система. Задачами управления считаются: выявление затрат, как фактора повышения экономических результатов производственной деятельности предприятия; расчет затрат по отдельным подразделениям предприятия; расчет необходимых затрат на единицу продукции; разработка информационной базы, позволяющей оценить затраты при выборе и принятии хозяйственных решений; поиск резервов снижения затрат во всех звеньях производственной деятельности предприятия. В настоящее время используются следующие системы управления затратами: безубыточности CVP производства, ABC, direct-costing и standart-costing, controlling, FMEA-анализ, benchmarkibg, финансовый анализ производства продукции, бухгалтерский баланс, система целевой калькуляции затрат Target Costing, Cost Saving и другие [2].

Безусловно, организация малозатратного производства продукции должна быть современной, построенной как на высокой квалификации персонала, так и современном новом оборудовании, а также применении CAD/CAM/CAE-систем и других. Особое внимание должно уделяться технологии изготовления продукции, процессы которой должны соответствовать принципам CALS, которые возникли в связи с необходимостью повышения эффективности управления и сокращения расходов. CALS-технологии - это непрерывная информационная поддержка поставок и жизненного цикла продукции на всех ее стадиях при использовании единого информационного пространства. Эффективность CALS-технологий заключается в повышении качества продукции, сокращении материальных и временных затрат. Одним из направлений повышения эффективности малозатратного производства продукции является широкое применение компьютерных и информационных технологий, например, ИПИ-технологии (информационная поддержка жизненного цикла изделий), соответствующих CALS-технологиям, модульных конструкций и технологий [3]. Для них уже разработан ряд программных систем [4].

Выводы. Малозатратное производство конкурентной продукции охватывает три основных элемента: формирование качества изготавливаемой продукции, ее конкурентности, организацию, сопровождающиеся минимальными производственными затратами. При этом не следует забывать, что начало внедрения малозатратного производства связано с разработкой новой современной малозатратной продукции, переконструированием старой, при использовании современной материально-технической базы. Следует отметить, что в основе существенного уменьшения затрат лежат не системы управления затратами, а в первую очередь малозатратная продукция и высокоэффективная технология ее изготовления. Все показатели малозатратного производства решаются комплексно и замыкаются на затратах. Алгоритм организации малозатратного производства: установление выпускаемой современной продукции, обеспечение материально-технической базы и технологии, квалифицированных специалистов, качества, конкурентности, затратности.

Список литературы: 1. Джеймс Вумек, Дэниел Джонс. Бережливое производство. –М.: Изд-во Альпина Паблишер. 2020. -472 с. **2**. Мэри Поппендик, Том Поппендик. Бережлтвое производство оптимального обеспечения. – М.: Изд-во Вильямс. 2010. -256 с. **3.** Григорьева Н.С., Шабайкович В.А. Малозатратное изготовление конкурентной продукции: Монография. –М.: Из-во: Palmarium academic publishing 2015. – 440 с. **4**. Муленко В.В. Комплексные технологические и автоматизированные системы в машиностроении. -М.: РГУ им. И.М.Губкина, 2015. -73с.

СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ПРОМЫШЛЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

Шолковый А.А., Костенко А.В., Кириченко В.В.
(ООО «Промышленная безопасность», КамчатГТУ,
г. Петропавловск-Камчатский, Россия)
Тел. +7(984)1637436; E-mail: shalexandr84@mail.ru, andr13kost@list.ru

Abstract: *Aspects of the current state of industrial safety are described. The problems in the field of industrial safety are shown. The importance of expert organizations and audit in the field of industrial safety is shown.*
Key words: *industrial safety, injuries, hazardous production facility, expert organization, audit.*

С каждым годом проблема промышленной безопасности приобретает все более актуальный характер. С одной стороны устаревают основные производственные фонды, но с другой стороны, внедряются новейшие технологии, изменяется законодательство и т.д. Все эти факторы требуют корректировки действующего регламента безопасности и приведения его в соответствии с современными требованиями.

Для понимания всех изменений и текущего состояния проблем в области промышленной безопасности проводятся многочисленные встречи, круглые столы и конференции, правоприменительные практики, на которых обсуждаются все эти вопросы. На них присутствуют представители Ростехнадзора и руководители или профильные специалисты предприятий, имеющих в своих структурах опасные производственные объекты.

В области обеспечения промышленной безопасности опасных производственных объектов (ОПО) в России имеются определенные положительные тенденции. На ОПО промышленности и энергетики РФ зафиксированы одни из самых низких за последние 22 года (после вступления в силу Федерального закона «О промышленной безопасности опасных производственных объектов») показателей аварийности и травматизма. Однако риск аварий и несчастных случаев по-прежнему остается очень высоким, что подтверждает статистика аварийности и производственного травматизма текущего года [1].

Общими проблемами и факторами риска в области промышленной безопасности являются: высокая степень износа основных производственных фондов; низкий уровень производственной и технологической дисциплины; нехватка квалифицированных специалистов; низкий уровень подготовки специалистов и персонала; недостаточный уровень знаний требований безопасности; неустойчивое финансовое положение предприятий [2].

Изменения конъюнктуры рынка, конкуренция зарубежных производителей, отсутствие или недостаточность государственного заказа, смена собственников и реорганизации привели в ряде случаев к остановке и перепрофилированию производств, снижению капиталовложений в предприятия, недостаточному финансированию программ по техническому перевооружению. Это привело к старению основных фондов, эксплуатации оборудования и технологий, не соответствующих современным требованиям.

Помимо химической, нефтегазоперерабатывающей промышленности, аналогичные проблемы имеются и в энергетическом комплексе. К примеру, большинство котельных

построено в 60–80 гг. прошлого века, около половины из них выработали не один нормативный срок эксплуатации, что увеличивает риски аварий.

На рубеже конца XX в. из-за тяжелой экономической ситуации в стране большинство предприятий не имело возможности модернизировать свои технологические процессы. Разрабатывались новые методики диагностирования и проведения ЭПБ с целью продления срока эксплуатации технологического оборудования, тем самым увеличивая уровень потенциальной опасности. Таким образом, проблемы и факторы риска в области обеспечения безопасности технологических процессов на ОПО из-за высокой степени износа основных производственных фондов, оборудования и технических устройств очень актуальны для промышленного комплекса страны.

Вследствие тяжелой экономической ситуации некоторые предприятия становятся банкротами. Кроме социальных проблем, в такой ситуации существуют и проблемы промышленной безопасности. Предприятие-банкрот не может провести в установленном порядке консервацию своих опасных производственных объектов, что несет дополнительный риск аварий и создает угрозу жизни и здоровью людей. В связи с этим на предприятиях необходимо формировать резервный фонд денежных средств для консервации или ликвидации опасного производственного объекта. Есть проблемы и факторы риска в области безопасности, связанные с человеческим фактором.

Анализ аварийности и травматизма на производствах показывает, что более 70% всех нарушений, повлекших за собой аварии на предприятиях, связаны с тем, что работники либо не знают требований безопасности, либо умышленно их нарушают, не представляя возможных последствий [3].

В 2018 году [4] коэффициент частоты производственного травматизма на 1000 работающих в целом по Камчатскому краю в 2018 году составил 2,6 человека. Самый высокий уровень травматизма допущен в таких видах экономической деятельности, как сельское, лесное хозяйство, охота, рыболовство и рыбоводство – (5,7), добыча полезных ископаемых – (4,6), обрабатывающие производства (3,2). Показатель смертельного травматизма составил 3,0% от общего числа пострадавших. Наиболее высокими показателями смертельный травматизм характеризуется в следующих видах экономической деятельности: добыча полезных ископаемых – 0,418, транспортировка и хранение – 0,192, сельское, лесное хозяйство, охота, рыболовство и рыбоводство – 0,191.

Приоритетная государственная задача – принятие мер по постоянному повышению требований как к безопасности технологических процессов, так и к уровню качества выпускаемой продукции и предоставляемых услуг, основываясь на анализе и оценке деятельности производственного контроля на предприятиях и тенденциях развития мировой промышленности.

Экспертные организации являются неотъемлемой частью системы обеспечения промышленной безопасности.

Выбирая экспертную организацию, заказчику нужно обратить особое внимание на предоставление экспертной организацией, помимо услуг по проведению технического диагностирования, технического освидетельствования и экспертизы промышленной безопасности технических устройств, зданий и сооружений, на предоставление таких услуги как:

- проведение аудита предприятия по вопросам соблюдения законодательства в области промышленной безопасности с выработкой решений по приведению в соответствие с требованиями нормативной документации Ростехнадзора;

- проведение профессионального обучения по рабочим специальностям и повышения квалификации работников предприятия. Подготовка к аттестации в Ростехнадзоре специалистов предприятия по вопросам промышленной безопасности по всем областям аттестации;
- организация строительства, регистрации, эксплуатации, технического перевооружения, консервации и ликвидации опасных производственных объектов;
- организация постановки на учет в органах Ростехнадзора, эксплуатации и обслуживания технических устройств, применяемых на опасных производственных объектах.

Таким образом аудит в области промышленной безопасности – независимая экспертная оценка соблюдения юридическим лицом требований промышленной безопасности при проектировании, строительстве, эксплуатации, реконструкции, капитальном ремонте, техническом перевооружении, консервации и ликвидации опасного производственного объекта; изготовлении, монтаже, наладке, обслуживании и ремонте технических устройств, применяемых на опасном производственном объекте.

Проведение аудита позволит руководству предприятия оценить выполнение требований промышленной безопасности в организации. Во время проведения аудита должны быть проверены все элементы и аспекты обеспечения промышленной безопасности в эксплуатирующей организации с оформлением отчета.

Список литературы: 1. Взаимосвязанные проблемы промышленной безопасности [Электронный ресурс]. – URL: https://365-tv.ru/index.php/stati/bezopasnost/365-vzaimosvyazannye-problemy-promyshlennoj-bezopasnosti (дата обращения: 28.05.2020). **2.** Современные проблемы промышленной безопасности [Электронный ресурс]. – URL: https://1cert.ru/stati/sovremennye-problemy-promyshlennoy-bezopasnosti (дата обращения: 28.05.2020). **3.** Годовой отчето деятельности федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору в 2018 году [Электронный ресурс]. – URL: http://www.gosnadzor.ru/public/annual_reports/%D0%93%D0%BE%D0%B4%D0%BE%D0%B2%D0%BE%D0%B9%20%D0%BE%D1%82%D1%87%D0%B5%D1%82%20%D0%B7%D0%B0%202018%20%D0%B3%D0%BE%D0%B4.pdf (дата обращения: 28.05.2020). **4.** Производственный травматизм в камчатском крае в 2018 году [Электронный ресурс]. – URL: https://kamstat.gks.ru/storage/mediabank/%D0%9E%20%D0%BF%D1%80%D0%BE%D0%B8%D0%B7%D0%B2%D0%BE%D0%B4%D1%81%D1%82%D0%B2%D0%B5%D0%BD%D0%BD%D0%BE%D0%BC%20%D1%82%D1%80%D0%B0%D0%B2%D0%BC%D0%B0%D1%82%D0%B8%D0%B7%D0%BC%D0%B5%20%D0%B2%20%D0%9A%D0%B0%D0%BC%D1%87%D0%B0%D1%82%D1%81%D0%BA%D0%BE%D0%BC%20%D0%BA%D1%80%D0%B0%D0%B5%20%D0%B2%202018%20%D0%B3%D0%BE%D0%B4%D1%83%20(%D0%BF%D1%80%D0%B5%D1%81%D1%81-%D0%B2%D1%8B%D0% BF%D1%83%D1%81%D0%BA).htm (дата обращения: 28.05.2020).

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ОЦЕНКА ЛОГАРИФМИЧЕСКОГО ДЕКРЕМЕНТЕ ЗАТУХАНИЯ БАЛКИ ИЗ СЛОИСТОГО КОМПОЗИТА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДА АУДИОРЕГИСТРАЦИИ

Щугорев В.Н., Радин В.П., Дуйшеналиев Т Б., Чирков В.П., Горбачев П.А., Щугорев А.В *(Национальный исследовательский университет «Московский энергетический институт», г. Москва, Россия)*
Тел./Факс: +7 (916) 6043425; E-mail: Shchugorev.VN@gmail.com

Abstract: *The paper considers a composite beam (a simplified model of an electrical insulation element), for which the free oscillation equation is applicable, and Estimates the logarithmic attenuation decrement using the audio recording method*
Key words*: attenuation decrement, composite, Beam, audio recording,, experiment*

В технике все большее применение находят композиционные материалы, имеющие слоистую структуру [1]-[4]. Небольшая удельная масса, хорошие прочностные характеристики и стойкость к воздействиям окружающей среды – все эти преимущества имеют композиционные материалы над изотропными. При изготовлении элементов конструкций в машиностроении в настоящее время используются различные типы таких материалов, которые требуют исследования их поведения при вибрациях. Например, изоляторы (в виде композитных балок) в распределительных шкафах электрооборудования, находящихся в вибрационной зоне вблизи генераторов и т.д.

В работе рассматривается композитная балка (упрощенная модель электроизоляционного элемента), для которой применимо уравнение свободных колебаний, Оценивается логарифмический декремент затухания с использованием метода аудиорегистрации.

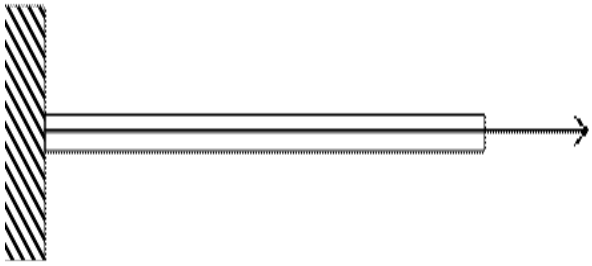


Рис.1. Схематизация электро изолятора

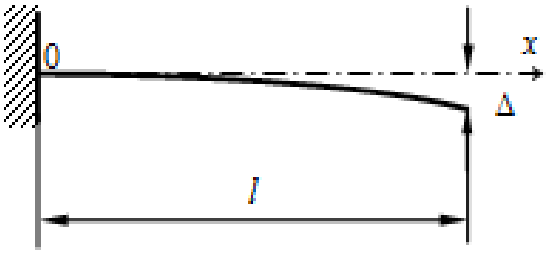


Рис. 2. Схема нагружения. l - длина стержневого элемента; Δ - отклонение

Аналитическая постановка задачи

Рассмотрим колебания стержня после того, как его конец отклонили на величину Δ, а потом связь снимается (рис. 2).

Найдем функцию статического прогиба балки при отклонении ее конца на величину Δ. Уравнение изгиба:

$$EI\frac{d^4v}{dx^4} = 0, \quad \text{где } v(x) = C_1x^3 + C_2x^2 + C_3x + C_4.$$

Граничные условия: $x = 0, \quad v = 0, \quad \frac{dv}{dx} = 0 \quad x = l, \quad v = -\Delta, \quad \frac{d^2v}{dx^2} = 0$,

Удовлетворяя граничным условиям, получим:

$$C_1 = \frac{1}{2}\frac{\Delta}{l^3}, \qquad C_2 = -\frac{3}{2}\frac{\Delta}{l^2}, \qquad C_3 = 0, \qquad C_4 = 0.$$

Функция прогиба:

$$v(x) = \frac{\Delta}{2}\left(\frac{x^3}{l^3} - 3\frac{x^2}{l^2}\right)$$

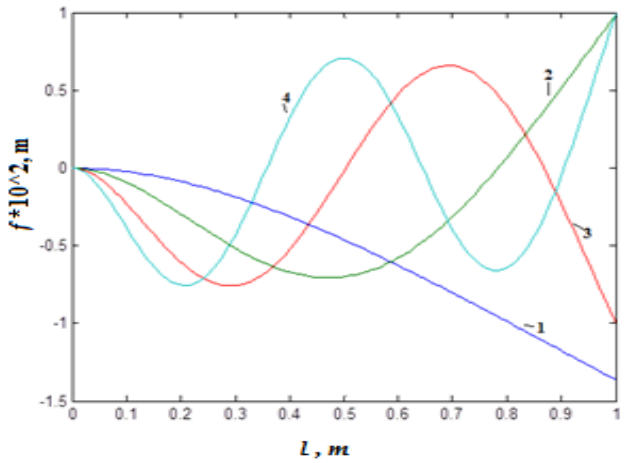


Рис. 3. Собственные формы колебаний консольно закрепленного стержня

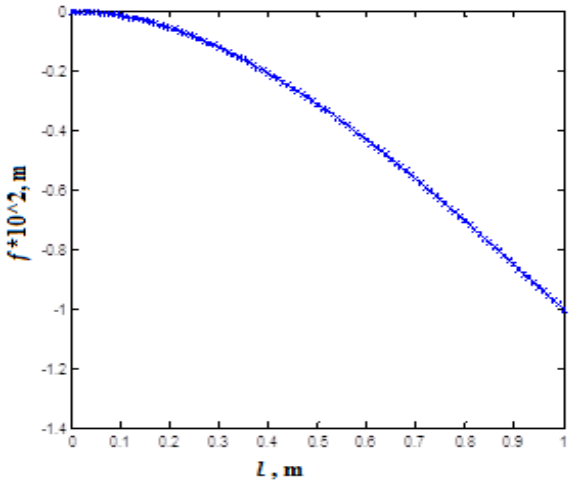


Рис. 4. Максимальное значение прогиба, (аналитический расчет)

Собственные формы колебаний консольно закрепленного стержня представлены на рис.3.::- 1 - первая форма колебаний; 2 - вторая форма колебаний, 3 - третья форма колебаний; 4 - четвертая форма колебаний.

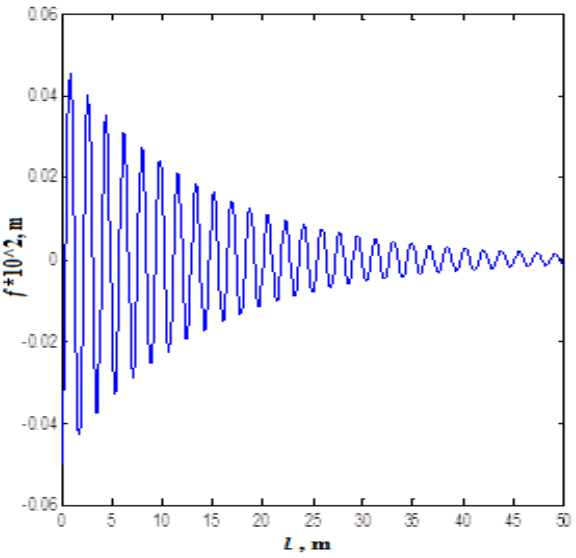


Рис. 5. Амплитудно-временная характеристика колебаний балки

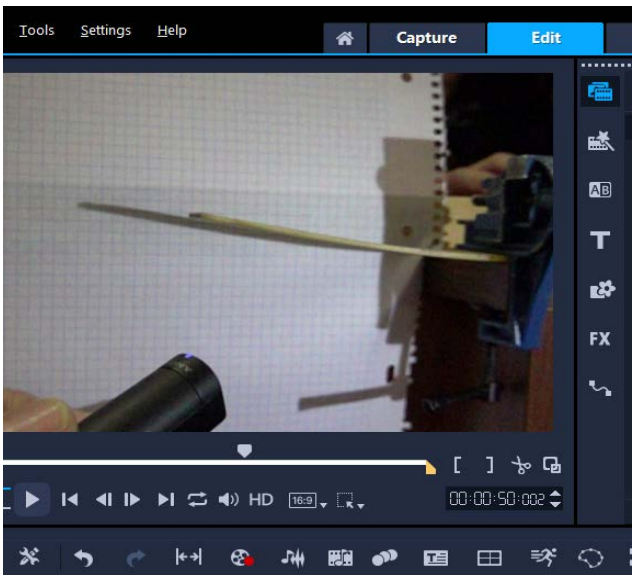


Рис. 6. Максимальное значение прогиба в ходе эксперимента

Использование Action камер.

Action камеры позволяют фиксировать быстро протекающие процессы со скоростью до 240 кадров в секунду[5], [6]. При этом разрешение кадра видеоматериала составит 720 строк (1080 строк для некоторых моделей, например - GoPro 6). Таким образом, за временной интервал между кадрами, объект движущийся со скоростью V=6 (м/с) (типичная скорость при низкоскоростном ударе) может сместиться на расстояние Delta=0,025 м. В нашем случае - (рис. 2). Зависимость прогиба представлена на рис. 6. Для обработки видеоинфомации как правило используются программные средства - видеоредакторы. Они позволяют замедлить или увеличить скорость видеосъемки и работать с отдельными кадрами. Разрешение в 720-1080 строк достаточно для выделения отдельных кадров из видеоматериала. На рис.6 представлена работа камеры с частотой видео фиксации 1000 кадров в секунду.

Методы аудио регистрации.

Современные микрофоны позволяют записывать звук в диапазоне от нескольких Гц до десятков кГц. Это позволяет фиксировать звук обусловленный колебаниями большинства балочных элементов конструкций [7]. Запись звуковых колебаний балки (рис.5) представлена на рис.7.

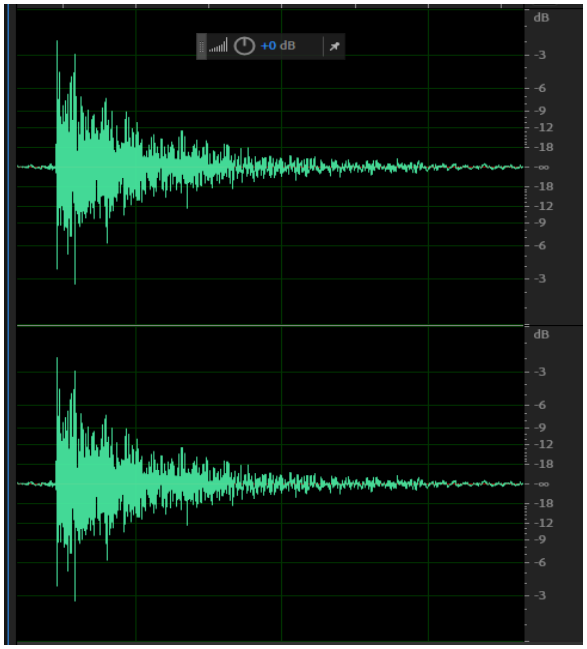


Рис. 7. Амплитудно-временная характеристика колебаний балки,

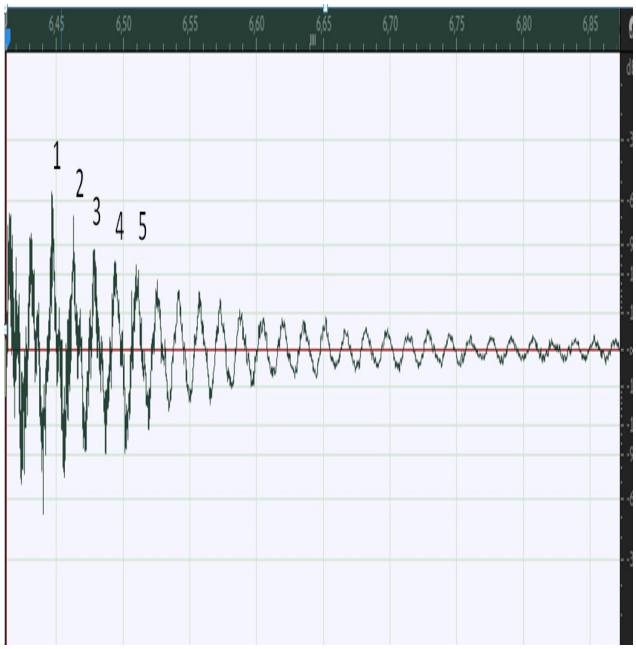


Рис.8. Оценка логарифмического декременте затухания

На рис.7 представлена Амплитудно-временная характеристика колебаний балки, полученная в ходе эксперимента, при помощи высокочувствительного микрофона. Анализ звуковых колебаний проводился с использованием программ - звуковых редакторов (рис. 7). Эти средства позволяют изменять временной масштаб отображения происходящего процесса. Разрешение звукового видеоматериала вполне достаточно для оценки частоты собственных колебаний.

Для оценки затухания используют логарифмический декремент, который определяется как натуральный логарифм отношения двух последовательных амплитуд, помеченных цифрами на графике. Среднее значение логарифмического декременте (

рис.8) составило 0.34.

Заключение

1. Вышеприведенное исследование показывает, что применение звукозаписывающей и видеозаписывающей аппаратуры позволяет достоверно определить частоты собственных колебаний балки изготовленной из композитного материала. Сопоставление точного теоретического решения и результатов, полученных экспериментально с использованием звуко и видео регистрирующей аппаратуры, дает их хорошее соответствие.

2. Использование Action камеры в качестве фиксатора видеоинформации возможно после сопоставления масштаба исследуемого объекта, скорости протекающего процесса и изменения конфигурации системы за межкадровый промежуток времени.

3. Принципы фиксации скоростных процессов, рассмотренные выше, используются в специальных курсах магистерской подготовки студентов, при выполнении выпускных бакалаврских работ и магистерских диссертаций студентов специальности «Динамика и прочность машин» НИУ «МЭИ», научных исследованиях и могут быть обобщены для решения задач неконсервативной устойчивости и колебаний [8].

Список литературы*:* **1**. Bolotin Vladimir V**.** Stability problems in fracture mechanics. - John Wiley & Sons, Inc. - 1996.-187 с. **2**. Динамика удара: Пер. с англ./Зукас Дж.А., Николас Т., Свифт Х.Ф. и др.-М.: Мир, 1985. **3**. Касьянов К. Г., Щугорев В.Н., Подмазов Д.А, Никишин В.И. Исследование напряженно деформированного состояния в слоистой плите при низкоскоростном ударном нагружении.. // Материалы XXIV международного симпозиума «Динамические и технологические проблемы механики конструкций и сплошных сред» им. А.Г. Горшкова. — МАИ — 2018. — С.228-229. **4**. Касаткин А.В., Никишин В.И., Сапунова Л.С. Поведение ортотропного полупространства при дииамическом контактном нагружении. // Тез. докл. XXIV-ой МНТК студ. и асп. (14-15 марта 2019 г., Москва) — М.: ООО «Центр полиграфических услуг «Радуга», 2019. **5**. GoPro 6 Black. Руководство пользователя. Hevk Advance. 2018г., 108 с. **6.** Мурзаханов Г.Х., Щугорев В.Н., Щугорев А.В., Цой В.Э.**,** Использование скоростных Action видеокамер для регистрации быстро протекающих механических процессов // ВЕСТНИК РАЕН. 2018Т.18.№2. **7**. Щугорев В.Н. Применение звукорегистрирующей аппаратуры для оценки частот собственных колебаний композитной балки. Тр. 32-й сессии Российского акустического общества. 2019. **8**. Решение неконсервативных задач теории устойчивости // В.П.Радин, Ю.Н. Самогин, В.П.Чирков, А.В. Щугорев. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2017.-240 с.

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ДЕКРЕМЕНТОВ ЗАТУХАНИЯ КОНСОЛЬНЫХ БАЛОК ИЗ РАЗЛИЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ МЕТОДАМИ СКОРОСТНОЙ ВИДЕО ФИКСАЦИИ

Щугорев В.Н., Хроматов В.Е., Сапунова Л.С., Цой В.Э,, Мурзаханов Г.Х., ЩугоревА.В (*Национальный исследовательский университет «Московский энергетический институт», г. Москва, Россия)*
Тел./Факс: +7 (916) 6043425; E-mail: Shchugorev.VN@gmail.com

Abstract: *The work is devoted to the use of audio and high-speed video recording equipment and further digital processing to estimate the frequency of free vibrations of a beam made of composite material. Composite materials are widely used in various fields of engineering*
Key words: *- composite beam, natural vibration frequency, acoustic and video recording of beam vibrations*

Работа посвящена применению аудио и высокоскоростной видео регистрирующей аппаратуры и дальнейшей цифровой обработке для оценки частоты свободных колебаний балки из композитного материала. Композиционные материалы находят широкое применение в различных областях техники. Владение современными методами исследований физических свойств необходимо для глубокого понимания студентами механики композитов. На данный момент широко разработаны эффективные методы оценки поведения конструкций из композиционных материалов в условиях статического нагружения [1-3]. Однако до сих пор не существует сравнимых по эффективности методов расчета поведения конструкций при динамическом нагружении [4].

Значительный интерес при проведении таких исследований представляет собой *акустическая и видеофиксация* процесса нагружения и дальнейшего поведения исследуемых композитных балок.

Для определения характеристик демпфирования, в большинстве случаев используют линейные модели механических систем. Но также, есть возможность использования некоторых из таких методов для нелинейных систем в областях малых амплитуд напряжений при частотной независимости параметров демпфирования. В качестве фундаментальных показателей демпфирования являются: -энергия, рассеиваемая за цикл колебаний -отношение этой энергии к потенциальной энергии упругой деформации. Абсолютные единицы степени демпфирования колебаний [2]/

Функции демпфирования для разных конструкционных материалов сильно отличаются, а для композиционных – зависят не только от уровня и распределения напряжений, но и от частоты циклического нагружения.

Процесс рассеивания называется «демпфированием» колебаний. Его разделяют на внутреннее и конструкционное рассеивание. В композитных материалах происходят сложные процессы диссипации энергии за счет внутреннего демпфирования в вязкой матрице и жестком наполнителе, и за счет конструктивного рассеяния энергии на границах раздела наполнитель – матрица[3]. За счет адгезионных связей, уровень демпфирования на границе раздела будет больше, чем суммарное рассеяние в матрице и наполнителе.

Внутреннее рассеяние энергии имеет свои характерности, а именно большие численные параметры. Поэтому демпфирование может зависеть от амплитуды и от частоты колебаний, не являясь в конечном счете суммой вязкого и гистерезисного демпфирования,.

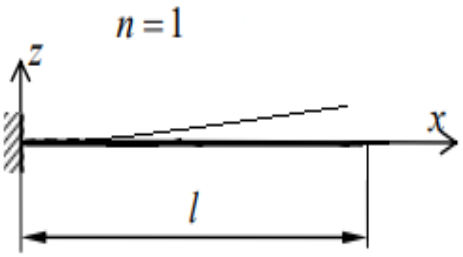


Рис. 1. Первая форма колебаний консольной балки

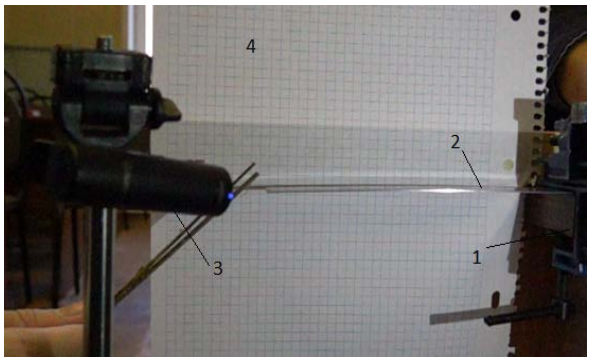


Рис. 2. Схема установки

Для большинства конструкционных материалов, с однородной структурой и высокими прочностными свойства, действующие механизмы диссипации показывают зависимость ψ от амплитуды и независимость от частоты колебаний.

Рассмотрим процесс колебаний консольной балки отклоненной от положения равновесия (рис.1). Будем рассматривать первую форму колебаний. Схема установки представлена на рис.2. Здесь цифрами обозначены: 1- заделка , 2- испытуемый образец, 3- устройство для записи аудио и видео информации,,4- шкала.

В процессеэксперимента исследовались балки из материалов: органопластик, дерево, углепластик, полимнр-ПММА, стеклотекстолит, сталь (рис.3).

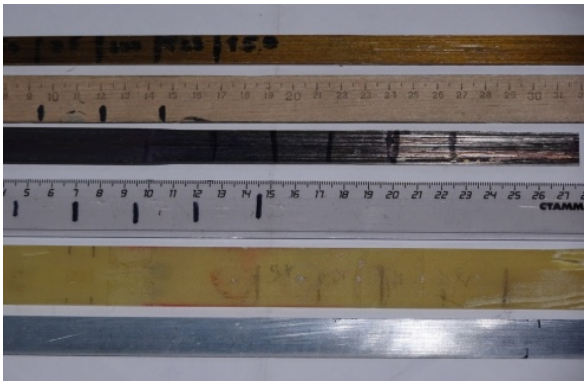


Рис. 3. Тиы образцов

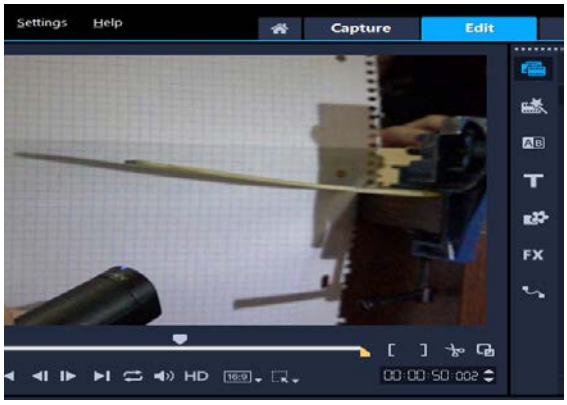


Рис.4. Окно видеоредактора

Современные Action камеры позволяют фиксировать быстро протекающие процессы[2].С использованием видеокамеры мы можем записать колебания балки со скоростью 1000 кадров в секунду . Это позволит зарегистрировать амплитуду колебаний от времени..

Для обработки видеоинфомации как правило используются программные средства - видеоредакторы. (рис.4). Они позволяют замедлить или увеличить скорость видеосъемки и работать с отдельными кадрами. Разрешение в 720-1080 строк достаточно для выделения отдельных кадров из видеоматериала . На рисунке 5 представлены последовательные положения балки с частотой видеофиксации 0.001 секанды.

На рис.6 показана амлитудно-временная зависимось для балок разной длины.

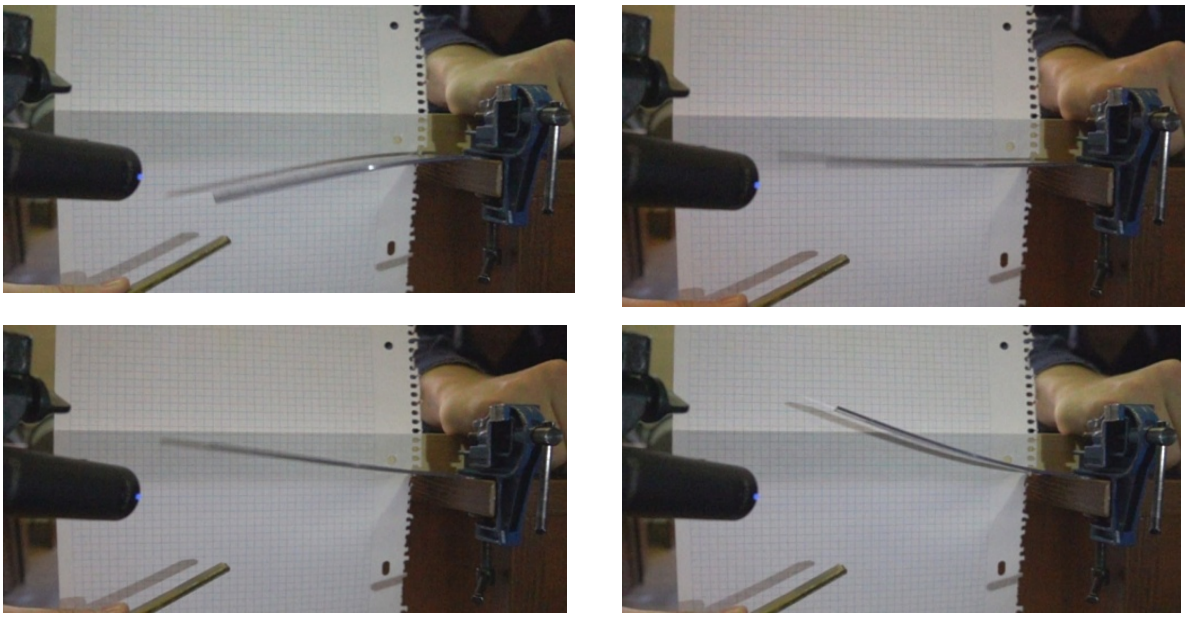


Рис. 5. Последовательная фиксация с частотой 0.001 секунды

На рис.7. представлены декременты затухания для исследуемых материалов (рис.3). Показанная диаграмма соответствует длине балки равной 150 мм.

.Анализ колебаний балок, проводимый с использованием программ - видео редакторов (рис. 4). позволяют изменять временной масштаб отображения происходящего процесса. Разрешение видеоматериала (1000 кадров в секунду) вполне достаточно для оценки частоты собственных колебаний и декремента затуханий.

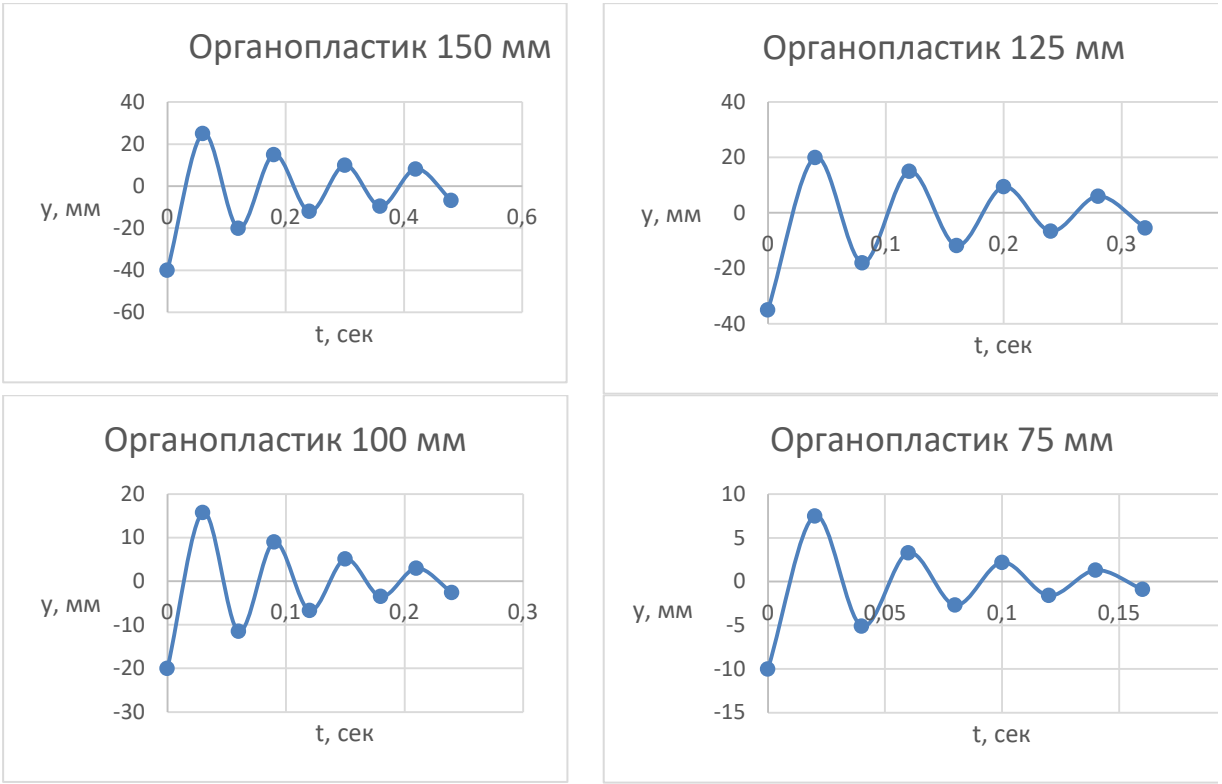


Рис.6. Амплитудно временная зависимость колебаний

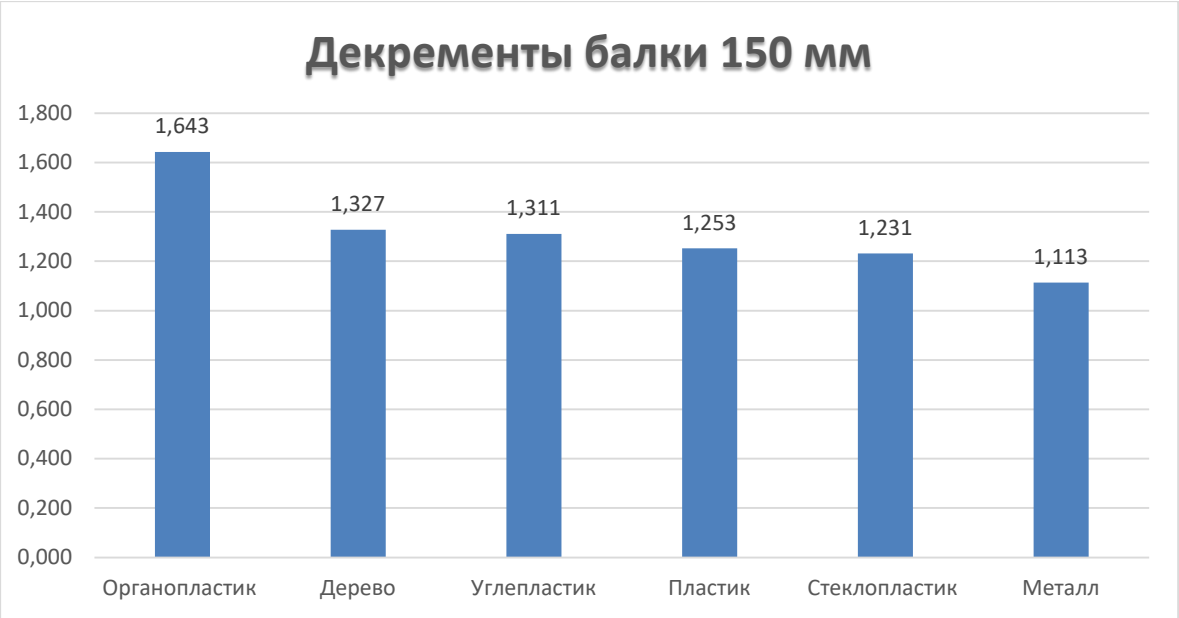


Рис. 7. Сравнительный анализ декрементов затухания

Принципы видео регистрации скоростных процессов [4]- [7], рассмотренные выше, используются в специальных курсах магистерской подготовки студентов, при выполнении выпускных бакалаврских работ и магистерских диссертаций студентов специальности «**Динамика и прочность машин» НИУ «МЭИ**», научных исследованиях и могут быть обобщены для решения задач неконсервативной устойчивости и колебаний [8].

Список литературы: 1. Bolotin Vladimir V**.** Stability problems in fracture mechanics. - John Wiley & Sons, Inc. - 1996.-187 с. **2**. Пелех Б.Л., Саляк Б.И. Экспериментальные методы исследования динамических свойств композиционных структур. Киев: КИЕВ НАУКОВА ДУМКА, 1990. 136 с **3**. Касьянов К. Г., Щугорев В.Н., Подмазов Д.А, Никишин В.И. Исследование напряженно деформированного состояния в слоистой плите при низкоскоростном ударном нагружении.. // Материалы XXIV международного симпозиума «Динамические и технологические проблемы механики конструкций и сплошных сред» им. А.Г. Горшкова. — МАИ — 2018. — С.228-229. **4**. Касаткин А.В., Никишин В.И., Сапунова Л.С. Поведение ортотропного полупространства при дииамическом контактном нагружении. // Тез. докл. XXIV-ой МНТК студ. и асп. (14-15 марта 2019 г., Москва) — М.: ООО «Центр полиграфических услуг «Радуга», 2019. **5**. GoPro 6 Black. Руководство пользователя. Hevk Advance. 2018г., 108 с. **6.** Мурзаханов Г.Х., Щугорев В.Н., Щугорев А.В., Цой В.Э**.,** Использование скоростных Action видеокамер для регистрации быстро протекающих механических процессов // ВЕСТНИК РАЕН. 2018Т.18.№2. **7**. Щугорев В.Н. Применение звукорегистрирующей аппаратуры для оценки частот собственных колебаний композитной балки. Тр. 32-й сессии Российского акустического общества. 2019. **8**. Решение неконсервативных задач теории устойчивости // В.П.Радин, Ю.Н. Самогин, В.П.Чирков, А.В. Щугорев. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2017.-240 с.

PRESSING PROCESS STUDY IN A CONICAL DIE OF A THIN-WALLED PIPE UNDER HIGH INTERNAL PRESSURE

Babayan A.A. *(NPUA, Yerevan, Armenia)*
Tel. (+37444) 202204, E-mail: babayan.arman.1997@mail.ru

Abstract: *The outer thin-walled pipe apart from the forces of the process itself, experiences also an internal pressure at the plastic deformations of bimetallic pipes and rods with a round cross-section conical die. The paper is focused on the study of a thin-walled pipe subjected to high internal pressure. The equilibrium equations of pipes under internal pressure and the Mises plasticity for the three-dimensional stress state were applied. It is assumed that the normal internal and external (caused by contact with the die) pressures on the pipe are equal. It is shown that they approximate the circumferential stress of the pipe. The main stresses have been estimated and a simple enough condition of plasticity is obtained, allowing to define the dimensionless values of pipe deformation depended meridional and circumferential stresses in solving the basic equilibrium equation and absence of friction. These values make it possible to investigate the process of compaction of the pipe material using the deformation theory of plasticity of porous materials.*

Keywords: *pressing, sintered material, porosity, stress-strain state, shell, analytical method.*

В работе [1] задача протяжки тонкостенной трубы в конической матрице решается как задача плоско-напряжённого состояния с двумя основными, противоположными по знаку, напряжениями ($\sigma_1 > 0,\ \sigma_3 < 0$ и $\sigma_2 = 0$) с использованием условия пластичности Мизеса

$$\sigma_1^2 - \sigma_1\sigma_2 + \sigma_2^2 = \sigma_T^2 \ , \tag{1}$$

аппроксимированное линейной функцией следующего вида:

$$\sigma_1 - k\sigma_3 = \sigma_T, \tag{2}$$

где σ_T - предел текучести материала при растяжении или сжатии, а k = 1,1 коэффициент аппроксимации. При этом одно из главных напряжений, меридиональное - положительно $\sigma_m = \sigma_1 > 0$, тогда как окружное - отрицательно $\sigma_\theta = \sigma_3 < 0$. В этом случае соответствующая условию пластичности (1) эллиптическая ветвь пройдёт в четвёртом квадранте, построенного на осях σ_1 и σ_3 эллипса. В работах [2, 3] использовались компоненты безразмерного напряжения для исследования напряжённо-деформационного состояния труб из сплошных и спечённых материалов различной пористости в процессах прессования и протяжки в конической матрице - при отсутствии и наличии трения. Отметим, что решения [2,3] в отличие от уравнений теории течения пористых материалов [4] не являются сложными и легко применимыми на практике [4, 5]. Однако исследование процесса прессования тонкостенной трубы в конической матрице под действием высокого внутреннего давления с применением условия пластичности (2), как задачи плосконапряжённого состояния, невозможно, так как имеем объёмное напряжённое состояние. Следовательно, работы в данном направлении достаточно актуальны.

Целью работы является исследование процесса прессования в конической матрице тонкостенной трубы нагруженной высоким внутренним давлением при отсутствии трения, учитывая, что она находится в объёмном напряжённом состоянии.

Для решения задачи используются следующие уравнения равновесия конических тонкостенных оболочек [4-6]:

$$\frac{d}{dr}(\sigma_m r) - \sigma_\theta + \frac{2p_m}{sin2\,\alpha} = 0, \tag{3}$$

$$\frac{\sigma_\theta}{\rho_\theta} = -\frac{P_v - P_{r1}}{h} - \frac{P_v + P_{r1}}{2\rho_\theta}, \tag{4}$$

а также для пластических материалов более точное, но довольно сложное, условие пластичности Мизеса, учитывающее объёмное напряжённое состояние [6]:

$$\frac{1}{\sqrt{2}}\sqrt{(\sigma_1-\sigma_2)^2+(\sigma_2-\sigma_3)^2+(\sigma_3-\sigma_1)^2}=\sigma_T \quad (5)$$

Из-за сложности задачи будем считать, что давления p_v и p_{r1}, действующие на трубу равны, то есть, $p_v = p_{r1}$. В таком случае из (4) получим:

$$\sigma_{\theta 1} = -p_v = -p_{r1}: \quad (6)$$

При прессовании тонкостенной трубы главные напряжения σ_1, σ_2 и σ_3 будут следующие:

$$\sigma_1 = -\sigma_{m1} < 0,\ \sigma_2 = \sigma_3 = \sigma_{\theta 1} = -p_v = -p_{r1} < 0, \quad (7)$$

с учетом которых (5) будет выглядеть следующим образом:

$$p_v - \sigma_{m1} = \sigma_T: \quad (8)$$

Решая уравнение равновесия (3) с условием пластичности (8) получим формулы для определения компонентов напряжённо-деформационных состояний тонкостенных труб при прессовании в конической матрице. Решим задачу при отсутствии трения, при $f = 0$, то есть в выражении (3) подставим $p_m = 0$.

В случае прессования тонкостенных труб система уравнений для решения задачи будет иметь следующий вид:

$$r\frac{d\sigma_{m1}}{dr} + \sigma_{m1} + p_v = 0, \quad p_v - \sigma_{m1} = \sigma_T: \quad (9)$$

Исключив p_v из дифференциального уравнения и пошагово преобразуя приведём его к следующему виду:

$$r\frac{d\sigma_{m1}}{dr} + 2\sigma_{m1} + \sigma_T = 0,\ r\frac{d\sigma_{m1}}{dr} = -2\sigma_{m1} - \sigma_T,\ \frac{d\sigma_{m1}}{2\sigma_{m1}+\sigma_T} = -\frac{dr}{r},\ \frac{d(2\sigma_{m1}+\sigma_T)}{2\sigma_{m1}+\sigma_T} = -2\frac{dr}{r}.$$

Проинтегрировав дифференциальное уравнение

$$\ln(2\sigma_{m1}+\sigma_T) = -2\ln r + \ln C \quad (10)$$

и, используя краевое условие (когда $r = r_1,\ \sigma_{m1} = 0$) прессования по схеме рисунка 1, для определения постоянной интегрирования С получим следующую формулу

$$\ln\sigma_T = -2\ln r_1 + \ln C,\ \ln C = \ln\sigma_T + 2\ln r_1,\ \ln C = \ln\sigma_T + \ln r_1^2,\ C = \sigma_T \cdot r_1^2.$$

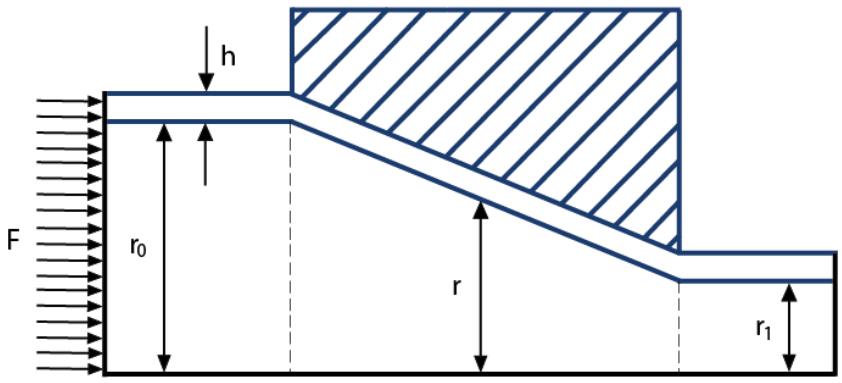


Рис. 1. Расчетная схема прессования труб

Подставив полученное значение С в основное уравнение (10), получим напряжение σ_{m1}:

$$\ln(2\sigma_{m1}+\sigma_T) = -2\ln r + \ln C,\quad \ln(2\sigma_{m1}+\sigma_T) = -\ln r^2 + \ln(\sigma_T \cdot r_1^2),$$

$$\ln(2\sigma_{m1}+\sigma_T) = \ln(\sigma_T \cdot \frac{r_1^2}{r^2}),\ 2\sigma_{m1}+\sigma_T = \sigma_T \cdot \left(\frac{r_1}{r}\right)^2,$$

$$\sigma_{m1} = -0{,}5\left[1-\left(\frac{r_1}{r}\right)^2\right]\sigma_T, \quad (11)$$

подставив которое во второй формуле выражения (9) $P_v - \sigma_{m1} = \sigma_T$ и учитывая, что

$\sigma_{\theta 1} = -P_v$ получим формулу определения окружного напряжения:

$$P_v = \sigma_T + \sigma_{m1} = \sigma_T - 0{,}5\sigma_T\left[1 - \left(\frac{r_1}{r}\right)^2\right] = 0{,}5\sigma_T\left[1 + \left(\frac{r_1}{r}\right)^2\right],$$

$$\sigma_{\theta 1} = -P_v = -0{,}5\left[1 + \left(\frac{r_1}{r}\right)^2\right]\sigma_T. \quad (12)$$

Формулы для определения безразмерных величин меридионального и окружного напряжений ($\bar{\sigma}_{m1}$ и $\bar{\sigma}_{\theta 1}$) будут следующие:

$$\bar{\sigma}_{m1} = -0{,}5\left[1 - \left(\frac{r_1}{r}\right)^2\right], \quad \bar{\sigma}_{\theta 1} = -0{,}5\left[1 + \left(\frac{r_1}{r}\right)^2\right]: \quad (13)$$

При применении инженерного метода для определения пористости материала спечённой трубы используются полученные выше данные и формула деформационной теории пластичности пористых материалов [4]:

$$v = 1 - (1 - v_0)\exp\left(-\frac{9v_0^m\sigma_0\varepsilon_{eq0}}{(1 - v_0)^{3n}\sigma_{eq0}}\right),$$

где v и v_0 - текущая и начальная пористости материала, $\sigma_{eq0} = \sigma_{\text{T}}$ и $\varepsilon_{eq0} = \bar{\varepsilon}_i = 1.155|\bar{\varepsilon}_\theta|$ - упрощенные величины эквивалентных напряжений и деформаций, соответственно, $\bar{\varepsilon}_\theta = \ln(\frac{r}{r_0})$ – окружная логарифмическая деформация [3], $\sigma_0 = (\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3)/3$ – среднее напряжение, m и n - параметры пористости.

Расчет произведён в программной среде MS EXEL, для начальных пористостостей материала v_0 = 0.1, 0.2 и 0.3 при m = 1, n = 0,25 [4] (табл. 1). Из результатов видно, что обеспечивается условие прессования трубы – величины сжимающего напряжения $\bar{\sigma}_{m1}$ и пористости материалов постепенно уменьшаются, при r/r_0 = 0.86 $\bar{\sigma}_{m1} = -0.257$, v_3 = 0 (пористость материала обращается в ноль - т. е. материал полностью уплотнился), v_1 и v_2 пока положительны, а отрицательные значения v означают ноль [4]). Что касается значений $\bar{\sigma}_{\theta 1}$, $\bar{p}_v$ и $\bar{p}_{r1}$, то их модули равны между собой, причём со значительно большим значением по отношению к $\bar{\sigma}_{m1}$.

Чтобы определить значения $\bar{\sigma}_{m1}$в случаях v_0 = 0.1 и 0.2 была составлена табл. 2, из которой следует, что при r/r_0 = 0.855 - $\bar{\sigma}_{m1} = -0.254$ и v_2 = - 0.001, а также при r/r_0 = 0.85 - $\bar{\sigma}_{m1} = -0.251$ и v_1 = - 0.001.

На рис. 2 сплошными линиями показаны кривые v - $\bar{\varepsilon}_i$ труб различной начальной пористости материала, а штриховые линии сответствуют данным [3]. Сопоставление этих кривых показывает, что в случае учета действия высокого внутреннего давления на тонкостенную трубу при прессовании ее в конической матрице пористость материала уменьшается интенсивнее чем при прессовании ее без внутреннего давления.

Таблица 1. Параметры прессования труб без трения при $\Delta(r/r_0) = 0{,}02$

r/r_0	r_1/r	$\bar{\varepsilon}_\theta$	$\bar{\varepsilon}_i$	$\bar{\sigma}_{m1}$	$\bar{\sigma}_{\theta 1}$	$\bar{\sigma}_0$	v_1	v_2	v_3
1	0.6	0	0	-0.320	-0.680	-0.560	0.1	0.2	0.3
0.98	0.612	-0.020	0.023	-0.313	-0.687	-0.562	0.088	0.177	0.267
0.96	0.625	-0.041	0.047	-0.305	-0.695	-0.565	0.076	0.153	0.231
0.94	0.638	-0.062	0.071	-0.296	-0.704	-0.568	0.064	0.128	0.192
0.92	0.652	-0.083	0.096	-0.287	-0.713	-0.571	0.050	0.101	0.150
0.90	0.667	-0.105	0.122	-0.278	-0.722	-0.574	0.037	0.072	0.104
0.88	0.682	-0.128	0.148	-0.268	-0.732	-0.577	0.022	0.041	0.054
0.86	0.698	-0.151	0.174	-0.257	-0.743	-0.581	0.007	0.008	0.000
0.84	0.714	-0.174	0.201	-0.245	-0.755	-0.585	-0.009	-0.028	-0.061
0.82	0.732	-0.198	0.229	-0.232	-0.768	-0.589	-0.027	-0.066	-0.127
0.80	0.750	-0.223	0.258	-0.219	-0.781	-0.594	-0.045	-0.108	-0.201

Таблица 2. Параметры прессования труб без трения при $\Delta(r/r_0) = 0{,}005$

r_0	r_1/r	$\bar{\varepsilon}_\theta$	$\bar{\varepsilon}_i$	$\bar{\sigma}_{m1}$	$\bar{\sigma}_{\theta 1}$	$\bar{\sigma}_0$	v_1	v_2	v_3
0.860	0.698	-0.151	0.174	-0.257	-0.743	-0.581	0.007	0.008	0.000
0.855	0.702	-0.157	0.181	-0.254	-0.746	-0.582	0.003	-0.001	-0.015
0.850	0.706	-0.163	0.188	-0.251	-0.749	-0.583	-0.001	-0.010	-0.030

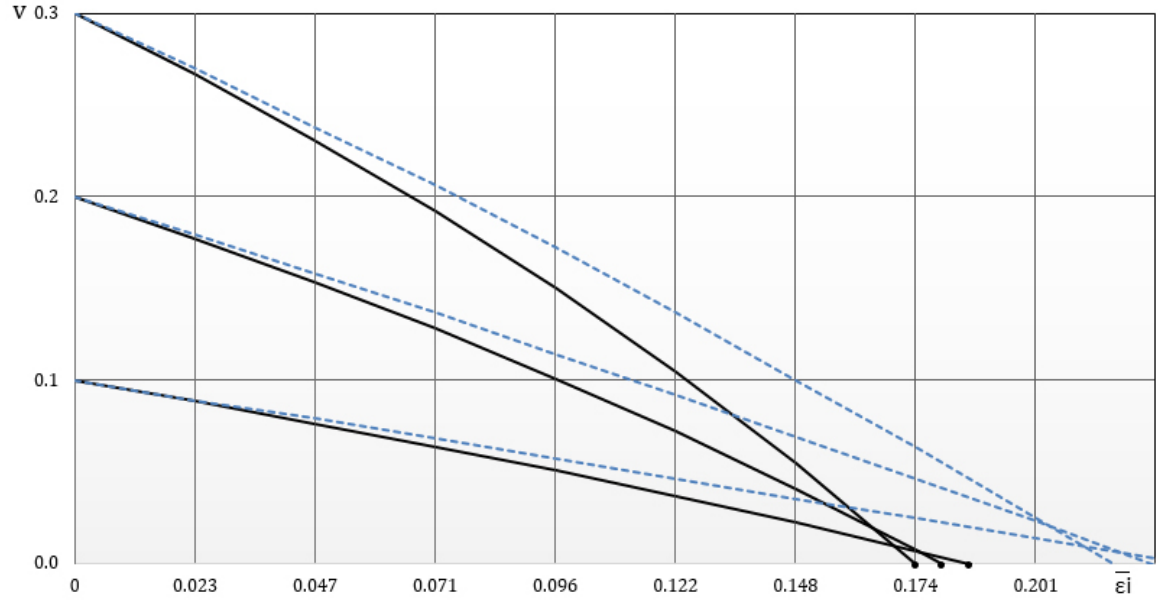


Рис. 2. Кривые v - $\bar{\varepsilon}_i$ труб различной начальной пористости материала при прессовании их в конической матрице

Отметим, что испоьзуя формулу (15) по данним $\bar{\sigma}_0$ табл. 2 для пористостей материала ν_0 = 0.1, 0.2 и 0.3 при m = 1, n = 0,25 [4] можно определить значения интенсивностей логарифмических деформаций $\bar{\varepsilon}_i$, когда величины текущей пористости $\nu \cong 0$. Получим:

1. когда ν_0 = 0.1 и $\bar{\sigma}_0$ = - 0,583 - $0 = 1 - 0{,}9\exp(0{,}566\bar{\varepsilon}_i)$, откуда $\bar{\varepsilon}_i \approx 0{,}188$,
2. когда ν_0 = 0.2 и $\bar{\sigma}_0$ = - 0,582 - $0 = 1 - 0{,}8\exp(1{,}238\bar{\varepsilon}_i)$, откуда $\bar{\varepsilon}_i \approx 0{,}180$,
3. когда ν_0 = 0.3 и $\bar{\sigma}_0$ = - 0,581 - $0 = 1 - 0{,}7\exp(2{,}051\bar{\varepsilon}_i)$, откуда $\bar{\varepsilon}_i = 0{,}174$.

Список литературы: 1. Джонсон У., Меллор П.Б. Теория пластичности для инженеров. - М.: Машиностроение, 1979.- 567 с. **2.** Петросян Г.Л., Маргарян М.А., Варданян Г., Бабаян А.А. Исследование процесса волочения тонкостенной спеченной трубы через коническую матрицу // Изв. НАН РА и НПУА. Сер. ТН. - Ереван, 2019. Том 72, N1.- С. 5-14. **3.** Бабаян А.А. Исследование процесса прессования спеченной тонкостенной трубы в конической матрице упрощенным методом // Межвузовский сборник «НАУКОВИ НОТАКИ».- ЛУЦК, ЛНТУ, 2019, выпуск N68.- С. 6-11. **3.** Петросян Г.Л. Пластическое деформирование порошковых материалов.- М.: Металлургия, 1988.- 153 с. **4.** Petrosyan G.L., Hambardzumyan A.F. Investigation of porous materials processing in conic dies // NATO Workshop. Recent Developments in Computer Modelling of Powder Metallurgy Process.- Kiev, 2000.- IOS Press, Amsterdam. NATO Science. Series III.- 2001.- Vol 176.- P.204-216. **5.** Малинин Н.Н. Прикладная теория пластичности и ползучести.-М.: Машиностроение, 1975.- 399 с.

TOWARDS META-PEDAGOGY

Dzhura S.G., Chursinov V.I., Chursinova A.A.
(Donetsk National Technical University, the DPR)
Tel. +380 (62) 301-08-25. E-mail: dzhura@inbox.ru

Summary: *This work analyzed modern trends in the development of pedagogical thought and justified the interdisciplinary approach of meta-pedagogy. The challenges of modern society are considered and the vector of development of world pedagogy is shown. Practical recommendations for achieving the goals of the Russian World are given.*
Keywords: *Russian cosmism, meta-pedagogy, meta-physics, meta-civilization, meta-science.*

Introduction: The development of any society, its success and purposefulness depend to a large extent on pedagogical activity which is to meet current challenges. We have spoken about it several times [1-8]. According to modern tendencies in the pedagogical thought development [9, 10] we think it is time to correct accents in new pedagogic which is being formed now including the Donetsk people's Republic (with all remarkable traditions of the Russian and global pedagogical thought). We would like to offer its working title which is meta-pedagogic.

The matter is that human mind is the object of pedagogic research. It is a mysterious substance which is yet to be introduced into the scientific circulation. That is this is a sphere of human psychic invisible with usual means. It is beyond classical science and enters the sphere which used to be called meta-physics ("meta"- extending beyond, dating back to Aristotle and his "Metaphysics"). However today there are a lot of similar tryouts in related sciences (having the prefix "meta"), which makes it possible to speak about the synthesis the best achievements to enter a new level of the modern pedagogical thought to form the adequate answer to the time challenges. From our point of view it is meta-pedagogic that gives the answer. What tryouts of the elated sciences are we talking about? First of all it is meta-mathematics based on the theory of centaurs developed at MHTU named after N. Bauman [11], meta-physics based on the universe polarization theory [12], and meta-chemistry [13], meta-philosophy [14] and meta-civilization [15]. These approaches are generalized and synthesized in [16] and [17]. That is there is a meta-system, integral, Trinitarian approach of post-non-classical science. The vector of development of this pedagogic being the optimization task of humanity formation is the most important thing in the problem formulation.

Problem statement: We share the point of view of our Russian colleagues on "Value fundamentals of the society in which a modern scientist grew up and was formed define the method of his research and understanding of the subject-matter even if he strives toward the research objectivity and credibility. However not all researchers strive toward it. The science subordinated to the market conditions, working according to orders and meeting customer's political and commercial interest is the rule in the current world". That is today's science is acting as a waiter standing in a bow in front of moneybags asking "Can I help you?" The situation is said and it is to be changed immediately.

The mission of the Russian World in science: The first president of the Russian Space Society Prof. B. Bolshakov took it out from the universe philosophical depth: "There are a lot of scientific schools in the world but only three of them are global: the western scientific school, the eastern philosophical school and the Russian scientific school" [17]. The western centric world view originates from the philosophy of the west which is followed by the corresponding economic, social and political model. Nowadays the approach (which is thought to be the only one by some people) is suffering an incredible crisis because the model is the analogue of a cancer tumor [19]. The model future is expressed by the concept of Gold billion. The problem statement is inacceptable for the majority of people. The western researchers have already noticed it [20].

The eastern philosophical school is diametrically opposed to the western one. The western philosophical concept is based on the primacy of the material over the spiritual which is expressed even in the language [21]. The eastern philosophical school emphasizes the primacy of the spiritual. The concept is followed by its own social, political and future model.

What is the concept of the Russian scientific school on a global scale? It is the concept of the middle way between such extreme positions of the West and the East. We think that western technologies should be taken to implement eastern goals and synthetically introduce them into the Big Russian World as it is not the "underdone west" as our opponents are trying to make us think, but it has the great future that is commanded by many genii and prophets and expressed in the meta-approach concept [22]. We will try to develop it in the paper.

Western centric nature of the current science is caused by historic processes and it is overcome, for example, in the paper of S.R. Ableev, the first Ph.D. who defended his dissertation on the Roerich's family philosophical heritage [23]. A number of papers of the Russian Space Society's researchers [24, 25] provide scientific base of the western science hopelessness and variants of the development of the Russian one. The mission of the Russian scientific school is in separating the wheat from the chaff in western technologies, synthetically using it to achieve goals put forward by the eastern philosophical school and implementing it in the frameworks of the scientific school in Russia and then globally. Economic and political models will follow it. It has been worked out and needs to be reflected [24], in particular the concept of brotherhood and noospheric and spiritual socialism, the only model which will allow the Big Russian World to survive [25].

The world order concept task statement has been given by the leader of the Big Russian World V.V. Putin: "The problems which appeared in the world in previous years are related to the world's uni-polarity caused by the Soviet Union collapse. Now everything is being renewed and the world is getting, if not has already become, multi-polar. It will inevitably lead us to the necessity to restore the significance of the international law and international universal institutions such as the UNO", the Russian leader said [26]. It is the multi-polarity that the Russian philosopher and humanist E.I. Roerich spoke about in her letter to the USA's President F. Roosevelt on 04.02. 1935 [27]: "The president can accept the Happiness Advice. Let President's power be used to strengthen the situation. His firm hand can direct his people to the union which can create the world balance. Little measures can be taken, but we should strive to the great ones. We are sending the message which can strengthen president's will and bring it into line with the rays of the Enlightened. The people of America are to enter the New Epoch. The so-called **Russia is the equitable balance to America and it is the only construction under which peace all over the world will be a solved problem.** The refusal from the highest principles cannot provide protection". It is said a lot about the Mission of Russia in the Heritage of the Great Family of Roerich [28], and it is gratifying that above mentioned points of view correlate.

Scientific basis for the meta-approach: "There are two important results in Godel's works: impossibility to prove mathematically consistency of a rather a wide system (economics, politics and philosophy can be classified like that) which includes all arithmetic in the frameworks of the system itself and existence of the crucial lack of possibilities of the axiomatic approach. Not a single solution of the arithmetic system can make it complete. Both contradictions can be solved only on the basis of meta-theories and **meta-approach**. Although the results are proved for arithmetic, as so often was the case, they have the general methodological character and can be applied to any system". [29] Therefore we offer the term of meta-pedagogic.

Crucially important context of the problem is the fact that there are two simultaneous processes in the world: one (knowledge images) is aimed at creating of more adequate world images to broadcast them into all levels of the social pyramid further on and to provide its continuous growth (development or evolving); the other one is opposite and directed to the regression

processes in the pyramid to test it on sustainability. Each participant of the processes is free to choose the party he would like to support". [10] The growing number of wars, floods, earthquakes and psychic diseases of not only an individual but also of countries is characterized by infection (the example of Ukraine is a very bright one). The fact proves that there is a war in the invisible world of senses and we are to win it on the earth as our fathers and grandfathers did and as it was commanded to the current generation of fighters for the Big Russian World. We are the participants of a difficult, ancient, uncompromising mystical battle between western hucksters and true heroes of the East. The proactive knowledge or the fabulous sword is of paramount importance in the war (here we are passing to the sphere of meta-sciences). It is the knowledge which will make it possible to beat the "superhuman strength", as it is specified by the Russian Space Society (RSS) [30], which is opposed to the Russian World. It is the superhuman strength that calculated our fragmentation even inside one movement, one religion and one organization, to say nothing of a state and the entire humanity. One step to use the principle "divide and rule" by the strength is dangerous. We feel it in Donbass. That is why we think we should listen to the commanded proactive meta-knowledge. Today the meta-knowledge is called the Ethic Gnosis of the East which involves such philosophical ethic systems as Agni Yoga, THE, and theosophy.

The instrumental method to solve the problem has been discussed in a number of papers [31-33] and all interested are invited to take part in our project "GDV-technology Ethic Vector" [34]. The words of a remarkable researcher A. Yanshin (the RAS academician, the chairperson of the academic board of the RAS in biosphere issues, the President of the Russian Ecological Academy, the advisor of the RF's President) are the research basis for the issue development in the light of the meta-pedagogic concept. He said: "While comparing the fundamentals of all numerous religions we make sure that they are totally similar… We can assume that Christ would recognize Agni Yoga as his doctrine, his striving to correct the humanity is close to Roerich's advocacy which is stated in the books of Agni Yoga and Elena Roerich's letters… I think that the educated humanity will gradually accept Roerich's doctrine as the global ethic system. <…> Agni Yoga is the moral foundation to unite the humanity".

Conclusions:

1) The epoch of uncontrollable growth of technosphere capability, computing possibilities, intellectualizing and digitizing which do not provide their main goal fulfillment – creation of the conditions to form a creative person able to implement his creative abilities in the name of life development and conservation is coming to its end. They do not give the answer to the question "Why does the nature need man?" and lead to the question "Why do technosphere and technocenosis need man?" The answer "There is no need" is inevitable. The "growth limits", "transhumanism", "technological singularity", and the "history end" result from it.

2) The humanity with its dominating need to "take", using life without any limits, killing the biosphere and biocoenosis, flora and fauna, the humanity which is not trained to approach to terra forming scientifically, and interact with the nature which has given birth to it from biospecific, homeostatic and symbiotic point of view is being replaced by the noospheric space rational civilization of co-creativity and cooperation in the system of "space-nature-society-man" in which the need "to give" prevails.

3) The cognition of the "man's subtle world" in the frameworks of the system of global imperialism and technological achievements can turn into the weapon to control the man totally.

4) The historic period of social Darwinism in which the death cult is raised to absolute and the surrounding information reality is aimed at forming the illusion of the entire degradation and decline and competition ad battle of all against all is coming to its end.

5) Besides the scientific and technical revolution the humanity urgently needs the spiritual and moral one in which the GDV-technologies will play a significant role.

References: **1.** P.V. Spefanenko, S.G. zhura, A.A. Chursinova. Pedagogic Aspects of Information Technologies on the Noospheric Development Stage// Proceedings of the 5th International scientific Conference "V. Vernadski's Creative Heritage and Modern Ecological Consciousness Formation" (Vernadski's Readings). - Donetsk, DonNTU, 2007. – p. 315-319. **2.** P.V. Stefanenko, A.V. Levshov, S.G. Dzhura. Distance Learning in the Light of Energy and Information Paradigm// Humanitarian Bulletin. Series: Pedagogic sciences: All-Ukrainian Proceedings. Issue 1. The Ministry of Science and Education of Ukraine. Cherkasi State Technological University. - Cherkasi: CSTU, 2009. – 114-130. **3.** S.G. Dzhura. Fundamentals of Synthesis Pedagogic // Eastern-European Journal of Advanced Technologies, №4/2(58), 2012. – p. 18-22. Access mode: https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=25&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwjj5puk6PblAhXJR5oKHbVPBfk4FBAWMAR6BAgHEAI&url=http%3A%2F%2Fjournals.uran.ua%2Feejet%2Farticle%2Fdownload%2F4211%2F3974&usg=AOvVaw0LBMuyIcdVcVSOuINlb-WL **4.** S.G. Dzhura. Philosophical Approach to Analyze Current Pedagogic (as applied to Ukraine) // Eastern-European Journal of Advanced Technologies, №4/2(58), 2012. – p. 23-27. **5.** O.A. Gudaev, S.G. Dzhura. Intellectual System of Distant Learning of Electrical Engineering Students Based on CREATIVE STUDIO PPS 1.0 // Modern Information Technologies and Innovation Teaching Methodologies: Methodology, Theory, Practice, Problems. Issue 31. – Kiev-Vinnitsa, the Company "Planer", 2012. p -328-33. Access mode: https://www.google.com/url?sa=t&source=eb&cd=1&ved=2ahUKEwj2jKO76vblAhVD A2MBHSD5Dl QFjAAegQIBRAB&url=http%3A%2F%2Firbis-nbuv.gov.ua%2Fcgi-bin%2 Firbis_nbuv%2Fcgiirbis_64.exe%3FC21COM%3D2% 26I21DBN%3DUJRN%26P21DBN%3DUJRN%26IMAGE_FILE_DOWNLOAD%3D1%26Image_file_name%3DPDF%2FSitimn_2012_31_71.pdf&usg=AOvVaw1FHg3u0-Zo9RUmnYZxNUoO **6.** P.V. Spefanenko, S.G. zhura, A.A. Chursinova. Pedagogic Features of Virtual Technologies // Ivan Yefremov and Russian Cosmism": collection of scientific papers edited by E. Trofimova. - StPb: StPbSIEU, 2012. – p. 346-356. **7.** A.V. Levshov, S.G. Dzhura, V. I. Chursibov. Pedagogic Research in the Context of Meta-Civilization //Proceedings of the XXI International Scientific and Technical Conference "Mechanical Engineering and Technospher of the XXI Century" – Donetsk: MCM, 2014, - p. 136-138. **8.** A.V. Levshov, S.G. Dzhura, V.I. Chursinov, V.V. Yakimishina. Truth Paradox in Pedagogic Research in the Context of Meta-Civilization. Petersburg Roerich's Collection. –V. III.- StPb, 2016. – p. 358-379. **9.** Noospheric Human Science as the Basis for the Noospheric Paradigm of Education and Bringing Up: Collective Scientific Monograph (Based on Proceedings of the IX International Scientific Conference "Noospheric Education in Euro-Asian Space", December 12-13 2019, Smolni, St. Petersburg)/ Edited by A.I. Subetto- StPb: Asterion, 2019. p 558-568. Access mode: http://ea.donntu.org:8080/bitstream/123456789/34270/1/_ noosfer_2019_.pdf **10.** A. V. Nepomnyashchi. Integral Education: Methodological Foundations, Concept, Implementation Ways. – Taganrog, SFU, 2019. **11.** S.V. Galkin. Alive and Rational Systems. – M., 2013. Access mode: http://www.roerich.com/zip3/live_system_2013.zip **12**. V.V. Chernukha. We and the Universe Worlds. New Global Physical Model. M., 2013.- Access Mode: http://www.roerich.com/zip3/mi_i_miri_mirozdaniya.zip **13**. G.G. Dlyasin. Meta-Chemistry. From Chemistry to the Anthropic Universe — M.: BUKI VEDI, 2013. — 680 p. **14**. S.R. Ableev. Consciousness Control (Theoretical Fundamentals of Self-Regulation). – Moscow: Amrita – P, 2017. **15**. S.I. Suhkonos. Meta-Civilization. – M.: The Book on Demand, 2011. Access mode: https://lib100.com/other/metatcivilizatciya/pdf/ **16**. L.M. Gindilis. Scientific and Meta-Scientific Knowledge. – M.: Delphis, 2012. – Access mode: http://roerich.com/zip3/metaznanie_gindilis.zip **17**. L.M. Gindilis. Scientific and Meta-Scientific Picture of the World. – M.: Delphis, 2016. – Access mode: http://www.roerich.com/zip3/_lmg_nauke_meta_2016_.zip **18.** B. E. Bolshakov. Sustainability as the Condition to Preserve and Develop the Russian Society // Inter-Regional Scientific and Practical Conference of the Russian State Society, 25.05.2018. – Access Mode: https://www.youtube.com/watch?v=o_cCZHmNev8 **19.** A.I. Subetto. Noospherism as the Strate-

gy to Save Humanity from Ecological Death and Basis for Humanitarian Dialogue of Civilizations on their Way to the World without Wars and Violence. Access mode: http://www.roerich.com/zip3/_noosferizm_kak_stategy_.zip **20.** E. U. Weizcacker, A. Wijkman. Come on! Capitalism, Short-termism, Population and the Destruction on the Planet. A Report to the Club of Rome written to its 50th anniversary in 2018. Access mode: http://www.roerich.com/zip3/_rome_50_.zip **21.** Unity of Europe According to Lexis Data: Monograph/ A. Kretov, O. Voevudskaya, I. Merkulova, V. Titov; Voronezhski State University. – Voronezh: Publishing House VSU, 2016. – 412 p. Access mode: https://www.twirpx.com/file/2358734/ **22.** S.G. Dzhura, V. I. Chursinov, V.V. Yakimishina. Russia' Development Strategy through the Prism of Meta-Science // Topical Ecological and Political Aspects of Nowadays: Proceedings of the Scientific and Practical Conference 28.02.2019, 04. 04, 2019. - Donetsk: DonNTU, 2019. – 48-50 p. RSCI: https://elibrary.ru/item.asp?id=41045691 **23.** S.R. Ableev. History of the World Philosophy. – M.: Astrel, 2005, - 414 p. – Access mode: https://alleng.org/d_ar/phil/phil073.zip **24.** A.I. Subetto. Noospherism as a New Way of Development. Book 1– StPb.: Asterion, 2017. – Access Mode: http://www.roerich.com/zip3/_subetto_1_.zip **25.** A.I. Subetto. Noospherism as a New Way of Development. Book 2 – StPb.: Asterion, 2017. – Access Mode: http://www.roerich.com/zip3/_subetto_2_.zip **26.** V.V. Putin. Transcript of Speech at the meeting of the Club "Valdai" 18.10.2018. – Access mode: https://tass.ru/politika/5692200 **27.** E.I. Roerich. Letters to America. V. 1. Letters to America in 4 Volumes (1923-1952). V.1. M.: Sphere, 1999. Access mode: http://agniyoga.roerich.info/index.php?title=04.02.1935_%28%D0%9F%D0%B8%D1%81%D1%8C%D0%BC%D0%B0_%D0%95.%D0%98.%D0%A0%D0%B5%D1%80%D0%B8%D1%85_%D0%B2_%D0%90%D0%BC%D0%B5%D1%80%D0%B8%D0%BA%D1%83_%D1%82.1%29 **28.** B. Y. Sokolova. "We Believe in Upcoming Flourishing of our Motherland" the Roerich Family about Russia's Evolution Mission. – Proceedings of the International Scientific and Social Conference "Russia and Roerich Family's Heritage" (8-11 October 2014). – Access mode: http://www.icr.su/rus/conferencies/2014/Sokolova.php **29.** G.S. Tesler. New Cybernetics. – K.: Logos, 2006. – 2004 – p. 57-58. **30.** Russian State Society. – Access mode: https://cosmatica.org/ **31.** S.G. Dzhura, V.I. Chursinov, V. V. Yakimishina. Current GDV Technologies to Fight for the ideals of the Big Russian World // Current Topical Problems of Information Confrontation; Challenges and Threats for Russia and the Russian World: Proceedings of the International Scientific and Practical Conference (Donetsk, 30 October 2019)/ Edited by Prof. S. Bespalova. – Donetsk: DonNTU, 2019. – p. 168-170. Access mode: http://donnu.ru/public/files/2019%20%D0%9C%D0%B5%D0%B6%D0%B4%D1%83%D0%BD%D0%B0%D1%80%D0%BE%D0%B4%D0%BD%D0%B0%D1%8F%20%D0%BD.-%D0%BF%D1%80.%D0%BA%D0%BE%D0%BD%D1%84..pdf **32.** S.G. Dzhura, V. I. Chursinov, V.V. Yakimishina. The Way to Create Ethic Internet through GDV-Technologies // Donbass Information Space: Problems and Prospects: Proceedings of the II Republican with International Participation Scientific and Practical Conference, 31 October 2019. – Donetsk: DonNUET, 2019. – p. 214-217. Access mode: http://ea.donntu.org:8080/bitstream/123456789/34190/1/Sbornik_31_10_2019.pdf **33.** S.G. Dzhura, V.I. Chursinov, V.V. Yakimishina. Ethic Vector of GDV-Technologies Development // Noospheric Education in Euro-Asian Space. Vol. 9 .Noospheric Human Science as the Basis for the Noospheric Paradigm of Education and Bringing Up: Collective Scientific Monograph (Based on Proceedings of the IX International Scientific Conference "Noospheric Education in Euro-Asian Space", December 12-13 2019, Smolni, St. Petersburg)/ Edited by A.I. Subetto- StPb: Asterion, 2019. p 558-568. Access mode: http://ea.donntu.org:8080/bitstream/123456789/34270/1/noosfer_2019_.pdf **34.** RSS Project "Ethic Vector of GDV-Technologies". – Access Mode: https://cosmatica.org/projects/gdv

DEVELOPMENT OF PRINCIPLES OF MODIFICATION BY HIGH-ENERGY PLASMA EXPOSURE OF COATINGS FROM CERAMICS WITH THE APPLICATION OF ADDITIVES OF REFINING METALS

Panteleenko F.I., Okovity V.A., Astashinsky V.M., Devoino O.G, Okovity V.V.
(Belarusian National Technical University, Minsk, Belarus)
Tel / Fax: (017)293-92-23; E-mail: scvdmed@bntu.by

Abstract: *Studied and optimized technological parameters of hardening high-energy processing sprayed coatings of materials based on oxide ceramics with inclusions of solid lubricant. Structure formation processes were investigated with reflow, compaction and high-speed cooling of coatings. The criterion for optimization modes is a maximum degree of local melting and compacting the deposited compositions in the absence of signs destruction coatings by laser radiation effects.*
Key words: *Ceramic coating, plasma spraying, utilization rate of the material, optimization of the parameters.*

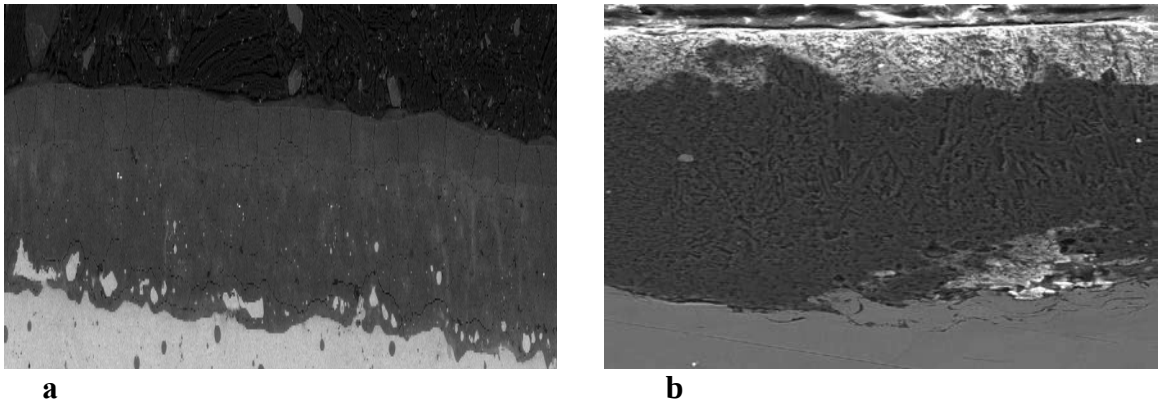
Pulse Laser Processing. A solid state quasistationary laser emitter is used as technological equipment. It allows you to process coatings with laser pulses of up to 4 ms duration obtained in the free generation mode. To optimize the hard laser processing regimes, it is necessary to study the effect of the power density of the laser pulse on the degree of fusion of the deposited compositions. When varying the power density, it was taken into account that the shape of the pulses of solid-state laser radiation in the free-running mode is determined by the shape of the pump current pulses. Along with the power density, the total number of laser pulses in the treatment spot was optimized. The specified process parameter affects the thickness of the treated coating layers [1-3]. Table 1 presents the results of power density optimization. Along with the power density of pulsed radiation, the total number of laser beam pulses in the treatment spot was optimized to form completely melted coatings throughout the entire thickness (0.5 - 0.6 mm). The microstructure of the coatings obtained in the optimized processing conditions is shown in Fig. 1. As in the case of the pulsed-plasma exposure technology, the coating layers are a fused cermet material. During reflow, chemical interaction at the boundaries of the main phases of the applied compositions is activated. The products of chemical interaction can be finely dispersed (including nanoscale) formations that strengthen the boundaries of the main phases and the coating as a whole [4-5].

Pulsed plasma treatment. The pulsed - plasma treatment of the sprayed coatings was carried out using a gas-discharge quasistationary accelerator such as a magnetoplasma compressor (MPC). The advantage of MPC over other types of accelerators is the high stability of the compression flow generated by it, the ability to control its composition, size and plasma parameters for a discharge duration sufficient for practical applications [4] The optimization technique was based on the need to obtain hardened amorphous or close to them nanocrystalline structures coatings that are the subject of research [3]. Under the thermal action of a plasma jet pulse, the coating layer is melted to a thickness of the order of 30 μm and it is superfast cooled with heat removal to the substrate. The higher the degree of short-term melting of a composition containing various phases (including refractory), the more centers of subsequent crystallization (amorphization) of the material, from which hardened structures develop upon ultrafast cooling. Taking into account the foregoing, the criterion for optimizing the pulse - plasma treatment of coatings, Al_2O_3-30% Cr_2O_3-12.5% MoS_2 and Al_2O_3-25% TiO_2-25% Cr_2O_3-12.5% MoS_2, the maximum degree of their fusion and compaction was selected, which is achieved by increasing the energy the level of thermal and shock - wave impact of the

pulse while reducing the distance of exposure to a minimum value. However, the reduction in distance is limited by the appearance of signs of destruction of the coatings (for example, cracks develop). According to the methodological approach, when varying the technological parameters of the pulse - plasma treatment, the distance of the impacts by pulses and their total number were changed. The latter technological parameter affects the thickness of the treated coating layers. For wear-resistant coatings that are the object of research, increased cohesive and adhesive strengths are required. Therefore, the total number of pulses should provide melting and compaction of the coatings over the entire thickness, which will fully contribute to the production of hardened structures. Table 2 presents the results of optimization of the processing distance. The microstructure of coatings obtained in optimized processing modes is shown in Figure 2. As you can see, the coating layers are a fused metal - ceramic material. A fairly uniform distribution of structural elements takes place. This helps to increase the wear resistance of the applied compositions. In photographs of structures, traces of particles of solid lubricants forming coatings are noticeable. The indicated structural elements are observed in the form of characteristic non-etched (light) shells. Preservation of the structure of sprayed composite particles in a plasma jet, their collision with the substrate, and after exposure to plasma pulses indicates that the composition of the initial powders does not undergo significant changes during coating formation.

Table 1. The results of studies on the optimization of power density

Coating	Density of the laser pulse power, x 105 W / cm2	Porosity index on the thin sections of the treated coating,%
Al_2O_3-25%TiO_2-25%Cr_2O_3-12,5%MoS_2	4,0 4,5 5,5 6,0 7,0	3,5 – 4,6 3,2 – 3,9 3,1 – 3,5 2,5 - 3,1 2,7 – 3,2
Al_2O_3-30%Cr_2O_3-12,5%MoS_2	5,0 6,0 6,5 7,0 8,0	4,2 – 5,0 3,7 – 3,9 3,4 – 3,6 3,1 – 3,3 3,2 – 3,4

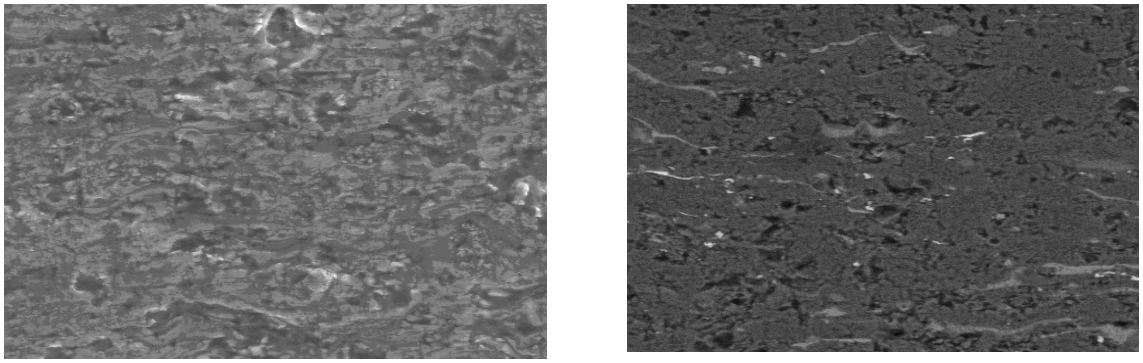


a **b**

Fig. 1. Microstructure of the coating: a- Al_2O_3-30% Cr_2O_3-12,5%MoS_2; b- Al_2O_3-25%TiO_2-25%Cr_2O_3-12,5%MoS_2 (x500)after after treatment with laser pulses

Table 2. The results of studies to optimize the processing distance

Coating	Pulse-plasma treatment distance, m	Porosity index,%
Al_2O_3-25%TiO_2-25%Cr_2O_3-12,5%MoS_2 (CBC)	0,09 0,08 0,07 0,06 0,05 0,04	3,7 – 4,9 2,8 – 4,5 2,6 – 3,9 2,6-3,4 2,5-3,3 Destruction of the coating
Al_2O_3-30%Cr_2O_3-12,5%MoS_2 (agglomerate.)	0,09 0,08 0,07 0,06 0,05	4,5 – 5,9 3,8 – 5,1 3,4 – 4,8 3,1-4,7 Destruction of the coating



а) **б)**

Fig. 2. Microstructure of the coating:a- Al_2O_3-30% Cr_2O_3-12,5%MoS_2,;b - Al_2O_3-25%TiO_2-25%Cr_2O_3-12,5%MoS_2 (x500) after pulsed plasma treatment

Conclusions. 1. The necessary and sufficient number of pulses for coatings from Al_2O_3-25% TiO_2-25% Cr_2O_3-12.5% MoS_2 powder is 6-7 exposures, and for coatings from Al_2O_3-30% Cr_2O_3-12.5% MoS_2 powders -5-8. Additional pulses are ineffective, since their repeated repetition worsens the geometry of the surface of the coating due to thermal destruction. The total number of pulses of laser radiation is much smaller in comparison with the pulses of a plasma jet (12 - 15) when exposed to the same coatings. This is explained by the exposure duration, which is respectively 4ms and 400 μs. The microstructure of the coatings is a melted cermet material. During reflow, chemical interaction at the boundaries of the main phases of the applied compositions is activated. The products of chemical interaction can be finely dispersed (including nanoscale) formations that strengthen the boundaries of the main phases and the coating as a whole.

2. The optimal distance pulsed-plasma treatment of coatings for Al_2O_3-25% TiO_2-25% Cr_2O_3-12.5% MoS_2 - 0.06 m; for Al_2O_3-30% Cr_2O_3-12.5% MoS - 0.07 m. This is

evidenced by the stabilization of porosity, whose desired reduction by the optimization criterion practically does not occur at distances below 0.06 and 0.07 mm, which is explained by the short duration of thermal and dynamic pulsed effects (~ 200 μs), as well as the significant content of the refractory phase in the coatings , preventing the increase in the degree of fusion and compaction of coatings. In addition, at distances ≤ 0.04 m for Al_2O_3-25% TiO_2-25% Cr_2O_3-12.5% $MoS_2$and 0.05 m for Al_2O_3-30% Cr_2O_3-12.5% MoS_2, coatings are destroyed with the development of macrocracks. Along with the processing distance, the total number of plasma pulses was optimized to form completely melted coatings over the entire thickness of the coatings. It has been established that the necessary and sufficient number of pulses for the complete processing of coatings for Al_2O_3-25% TiO_2-25% Cr_2O_3-12.5% MoS_2obtained by the SHS method is 14-15 exposures, for Al_2O_3-30% Cr_2O_3-12.5% MoS_2obtained by the method of agglomeration of a finely divided mixture with subsequent high-temperature sintering of 12 - 13 impacts. Additional impulses are impractical, since their repeated repetition worsens the geometry of the surface of the coating. The coating layers are a fused metal - ceramic material. A fairly uniform distribution of structural elements takes place. This helps to increase the wear resistance of the applied compositions.

References: 1. Panteleenko, F.I. Development of a composite material based on multifunctional ceramics for plasma spraying / Panteleenko F.I., Okovity V.A., Devino OG, Astashinsky V.M., Okovity V.V.// “Hardening technologies and coatings”, Engineering Moscow, 2015.-Issue 2.- P.43-47. 2. Chained, V.A. Optimization of the spraying process of wear-resistant coatings based on multifunctional oxide ceramics / Okovity VA, Panteleenko AF // “Processing of metals”, Novosibirsk, 2015. No. 2 (67) .- P.46-54. 3. Chilled, V.A. The technology of composite materials based on multifunctional oxide ceramics / Okovity V.A., Panteleenko F.I., Talako T.L., Panteleenko A.F // // “Metal Processing”, Novosibirsk, 2015.- №2 (67) .- P.39-45. 4. Panteleenko, F.I. Investigation of processes and optimization of technological parameters of pulse-plasma treatment of plasma coatings from materials based on multifunctional oxide ceramics // Panteleenko F.I., Okovity V.A., Devino O.G., Astashinsky V.M., Okovity V.V. // Proceedings of the international scientific and technical conference "Innovations in mechanical engineering" Kemerovo, 2015.p.360-364. 5. Composition for thermal spraying of wear-resistant coatings: US Pat. 19111 Rep. Belarus, IPC B22F 1/00; C23C4 / 04 / Okovitiy V.A., Devno O.G., Panteleenko A.F., Okovitiy V.V. .- the applicant - BNTU-No a 20120954; declared 06/22/2015, published on April 30, 2015 // Afitsyiny bul. Nat Center Intellectual. Ulasnasti. - 2015. - No. 2.

DIMENSIONAL ACCURACY OF MACHINING TECHNOLOGIES

Toca A., Stroncea A., Rushica I., Nitulenco T.
(Technical University of Moldova, Chisinau, Republic of Moldova)

Abstract: *The paper discusses the methodology for determining the accuracy of technological processes, taking into account that these processes are discrete. Discreteness is manifested at different levels: the process consists of a certain number of operations, the operation consists of a number of adjustments and the adjustment consists of a number of operation elements. Each of these levels is a dimensional object with its own internal dimensional structure. The links between dimensional levels are complex and the process is iterative with the ability to return to a higher level.*

1. INTRODUCTION

The existing classical methods to design technological process are complex and do not provide the required level of quality and reliability of technologies. The theory of manufacturing engineering to design the technology has a well-developed content part, but it is not sufficiently formalized. The designing processes for complex parts and for conditions of use of the CNC machine tools is more challenging in terms of both general approach and from the point of view of formalizing the process used and logical-mathematical apparatus.

The design process of the technologies should be considered more perfect if it requires a smaller number of information changes, including a smaller number of iterations. The technological process should be considered more perfect when it requires for use a smaller number of transformations of matter and energy which are also displayed via relevant information.

One of the most complicated problems during the elaboration of the manufacturing process is the synthesis of dimensional structure. Not only dimensional analysis of a developed manufacturing process but also to achieve on this basis the optimum dimensional structure it is necessary to execute.

The machining processes are referred to discrete processes. The discreteness is manifested at different levels: the process consists of a certain number of operations, the operation consists of a number of adjustments and the adjustment consists of a number of operation elements. Each of these levels is a dimensional object with its own internal dimensional structure. The links between dimensional levels are complex and the optimization process is iterative with the ability to return to a higher level.

The dimensional analysis takes a special place during designing technology, concerning the stage of designing and also the stage of technological designing [1-6]. The purpose of this process is to establish the values of working dimensions and working tolerances for the part at each technological element, so that the cost of machining would be minimally possible.

2. DIMENSIONAL OPTIMALITY OF THE MACHINING TECHNOLOGIES

Machining technologies represent sophisticated multilevel structures and for this reason achieving of the optimality is required for each structural level: machining technology, technological operation, technological mounting, technological element.

The modern technologies are based on the use of CNC machine-tools and machining centers so the dimensional and information discontinuities inherent in multi-operational technologies are gradually disappearing. In these conditions the main level for optimization is technological operation and technological mounting.

One of the criteria of technological operation's optimality has a structural nature. The manufacturing operation are considered optimum, if in the technological dimensional chain's structures of all technological dimensional chains, the number of the technological sizes is minimum [3]. This condition is respected if each constructive size is represented by a single

technological size in the technological dimensional chain, and in dimensional chains for machining allowances, each machining allowance is determined by two technological sizes or one technological size and one size on blank. The minimum possible number of the technological sizes $N_{T_{MIN}}$ is determined from the relation $N_{T_{MIN}} = N_C + 2 \cdot N_{Ad}$, where N_C - number of the constructive sizes, N_{Ad} - number of machining allowances.

It is necessary to note, that the dimensional optimality is not entirely characterized by the number N_T, but it is necessary to take into account the growth (sometimes complicated) of the technological sizes accuracy (a case of formation of the sizes as closing link of dimensional chains).

Other criteria for optimization are minimum of the sizes and minimum of the tolerances of the machining allowances, such that the use of low-energy and time consumption. In the case of big values of the machining allowances or of big values of tolerances of machining allowances, the increase of the number of the technological elements is possible. This means that the optimal solution is brought on another level.

The evaluation of the conditions of size's accuracy formation depending on structures of dimensional constructive and technological links represents interest. There were analyzed examples of details machining with different constructive dimensional links with a formation of the sizes from technological locating datum surface and from adjustment surfaces.

One of the variants is demonstrated on figure 1. The all constructive sizes are given from constructive base - surface 7 and the technological sizes are given also from locating datum surface 7. In a ratio of tolerances for the technological elements it is possible to write: $\omega_{A_t^i} = \omega_{A_c^i}$, $\omega_{B_t^i} = \omega_{B_c^i}$, $\omega_{C_t^i} = \omega_{C_c^i}$, $\omega_{E_t^i} = \omega_{E_c^1}$.

From these expressions follows that the accuracy of the technological dimensions must be equal to the accuracy of the corresponding constructive dimensions.

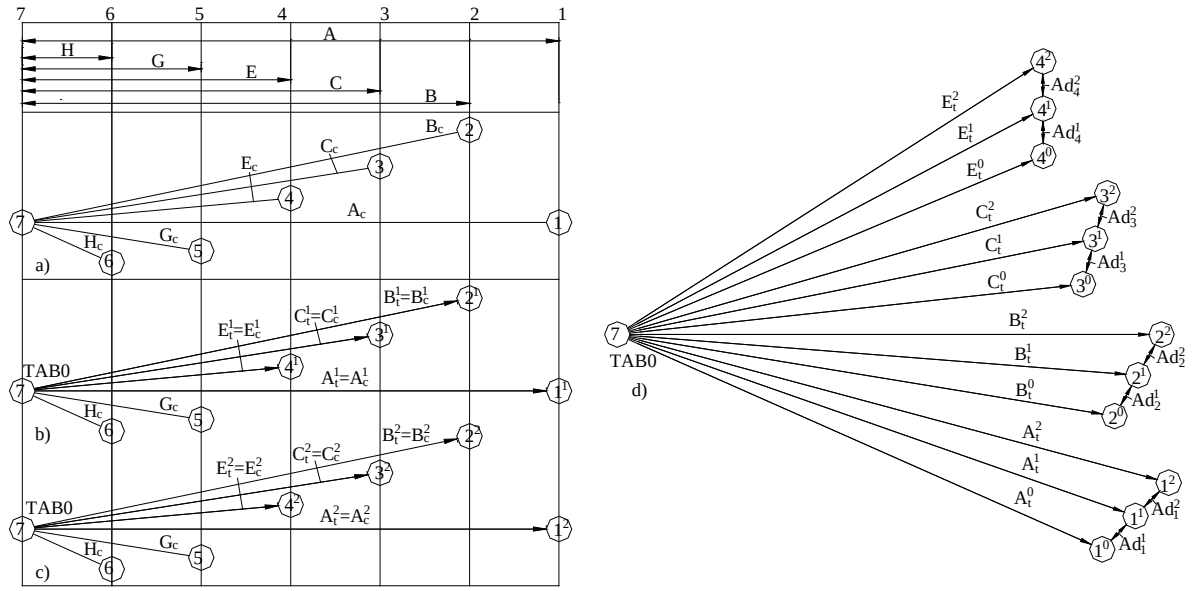


Fig. 1. Example 1 of constructive variant of a detail and the appropriate structures of the dimensional technological links

Resolving the dimension chains for the machining allowances taking into account the effect of error's compensation [7] one can write down:

$$\omega_{Ad_1^1} = (\omega_{A_t^0} + \omega_{A_t^1}) - 2\omega^{comp}_{1^0 1^1} \qquad \omega_{Ad_3^1} = (\omega_{C_t^0} + \omega_{C_t^1}) - 2\omega^{comp}_{3^0 3^1}$$

$$\omega_{Ad_1^2} = (\omega_{A_t^1} + \omega_{A_t^2}) - 2\omega^{comp}_{1^1 1^2} \qquad \omega_{Ad_3^2} = (\omega_{C_t^1} + \omega_{C_t^2}) - 2\omega^{comp}_{3^1 3^2}$$

$$\omega_{Ad_2^1} = (\omega_{B_t^0} + \omega_{B_t^1}) - 2\omega^{comp}_{2^0 2^1} \qquad \omega_{Ad_4^1} = (\omega_{E_t^0} + \omega_{E_t^1}) - 2\omega^{comp}_{4^0 4^1}$$

$$\omega_{Ad_2^2} = (\omega_{B_t^1} + \omega_{B_t^2}) - 2\omega^{comp}_{2^1 2^2} \qquad \omega_{Ad_4^2} = (\omega_{E_t^1} + \omega_{E_t^2}) - 2\omega^{comp}_{4^1 4^2}$$

From these relations it results, that the tolerance of a machining allowances deleted with a surface is defined by an accuracy of the appropriate technological sizes at two sequential stages of machining and the accuracy of sizes between technological locating datum surface and adjustment surface at two sequential stages of machining.

Another variant is demonstrated on fig. 2. Constructive dimensions are given from the surface 1, however the technological dimensions are given from locating datum surface 7.

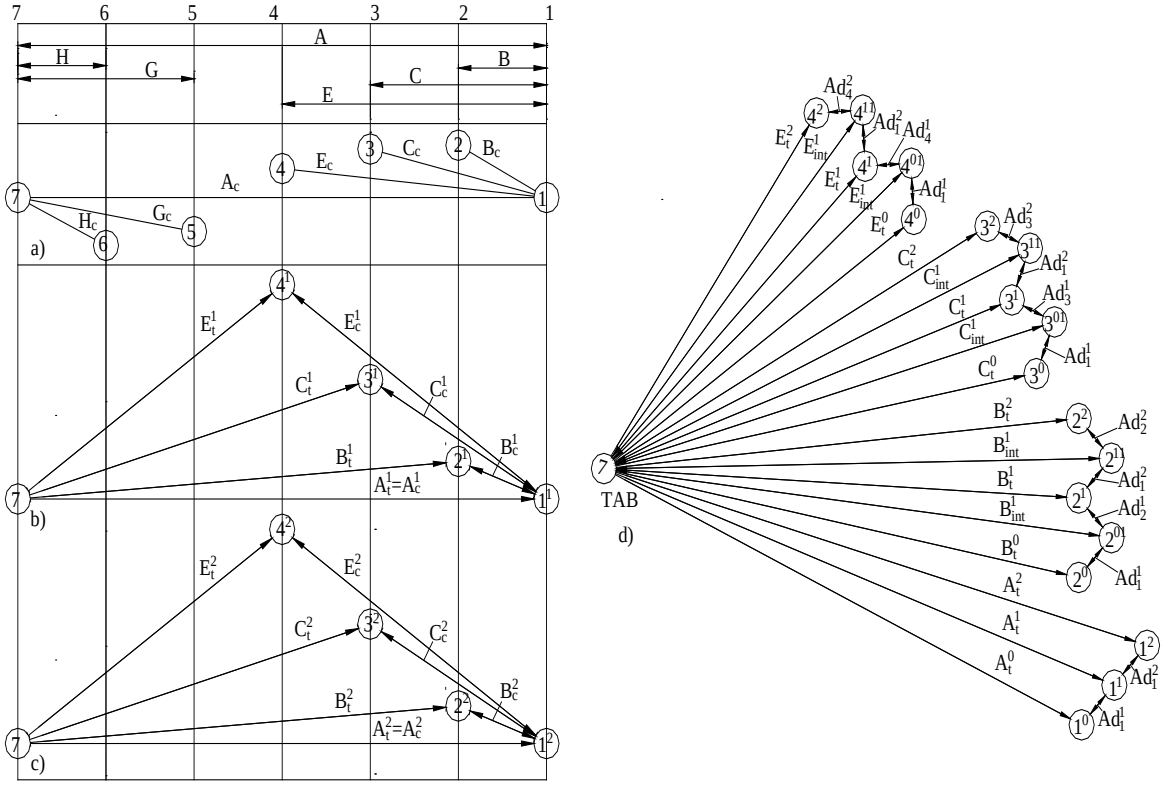


Fig. 2. Example 2 of constructive variant of a detail and the appropriate structures of the dimensional technological links

In a ratio of tolerances ω for the technological elements $i = 1,2$ it is possible to write: $\omega_{A_t^i} \le \omega_{A_c^i}$; $\omega_{B_t^i} + \omega_{A_t^i} \le \omega_{B_c^i}$; $\omega_{C_t^i} + \omega_{A_t^i} \le \omega_{C_c^i}$; $\omega_{E_t^i} + \omega_{A_t^i} \le \omega_{E_c^1}$.

From these expressions follows that the accuracy of the technological sizes must be higher than the accuracy of the corresponding constructive sizes. For the case

$A_c = 100\,(IT13)$ and $B_c / A_c = 0.02...0.98$ the number of tolerance units of the technological size a_{Bt} is within 0.13...0.8 of the number of constructive size's tolerance units (fig. 3). The accuracy of the technological size increases from IT13 to IT9…IT12. This technological scheme for small sizes is especially disadvantageous.

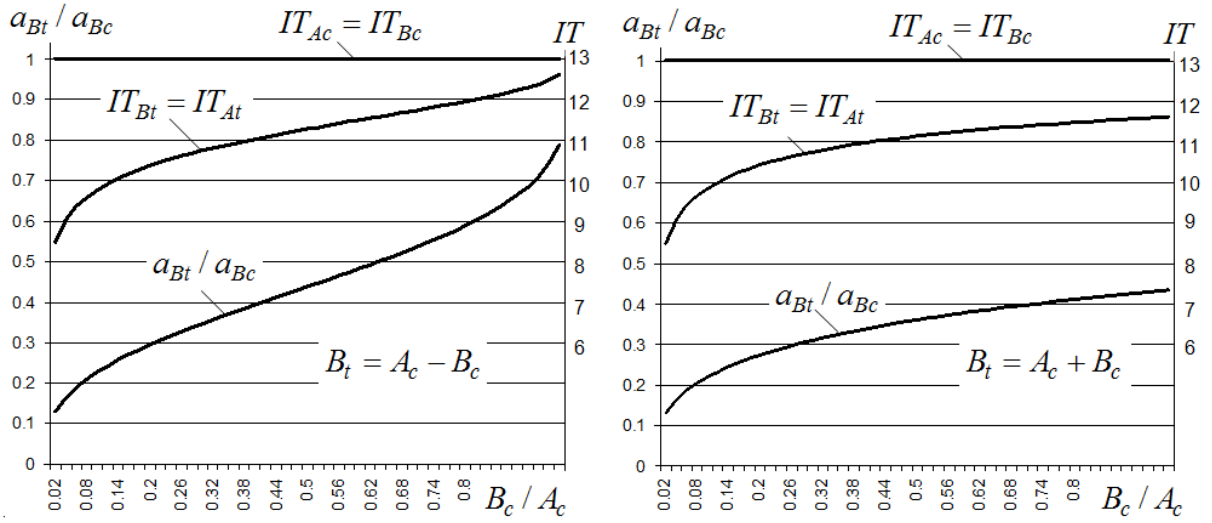


Fig. 3. The accuracy's increase of the technological sizes in comparison with the accuracy of the constructive sizes

Resolving the dimension chains for the machining allowances taking into account the effect of error's compensation one can write down:

$$\omega_{Ad_1^1} = (\omega_{A_t^0} + \omega_{A_t^1}) - 2\omega^{comp}_{1^0 1^1}$$

$$\omega_{Ad_1^2} = (\omega_{A_t^1} + \omega_{A_t^2}) - 2\omega^{comp}_{1^1 1^2}$$

$$\omega_{Ad_2^1} = (\omega_{B_t^0} + \omega_{B_t^1}) - 2\omega^{comp}_{2^0 2^1} + (\omega_{A_t^0} + \omega_{A_t^1}) - 2\omega^{comp}_{1^0 1^1}$$

$$\omega_{Ad_2^2} = (\omega_{B_t^1} + \omega_{B_t^2}) - 2\omega^{comp}_{2^1 2^2} + (\omega_{A_t^1} + \omega_{A_t^2}) - 2\omega^{comp}_{1^1 1^2}$$

$$\omega_{Ad_3^1} = (\omega_{C_t^0} + \omega_{C_t^1}) - 2\omega^{comp}_{3^0 3^1} + (\omega_{A_t^0} + \omega_{A_t^1}) - 2\omega^{comp}_{1^0 1^1}$$

$$\omega_{Ad_3^2} = (\omega_{C_t^1} + \omega_{C_t^2}) - 2\omega^{comp}_{3^1 3^2} + (\omega_{A_t^1} + \omega_{A_t^2}) - 2\omega^{comp}_{1^1 1^2}$$

$$\omega_{Ad_4^1} = (\omega_{E_t^0} + \omega_{E_t^1}) - 2\omega^{comp}_{4^0 4^1} + (\omega_{A_t^0} + \omega_{A_t^1}) - 2\omega^{comp}_{1^0 1^1}$$

$$\omega_{Ad_4^2} = (\omega_{E_t^1} + \omega_{E_t^2}) - 2\omega^{comp}_{4^1 4^2} + (\omega_{A_t^1} + \omega_{A_t^2}) - 2\omega^{comp}_{1^1 1^2}$$

From these relations it results, that the tolerance of a machining allowances deleted with a surface is defined by an accuracy of the appropriate technological sizes at two sequential stages of machining and the accuracy of sizes between technological locating datum surface

and adjustment surface at two sequential stages of machining. It is possible to draw an output, that in case of use at machining instead of technological locating datum surface the adjustment surface, thus the tolerance of the machining allowances depends on tolerances of all technological sizes at two adjacent stages of machining, defining a position of a processed surface concerning each adjustment surfaces used till technological locating datum surface.

Another variant is demonstrated on figure 4. Constructive dimensions are given in chain from the surface 1, however the technological dimensions are give from locating datum surface 7.

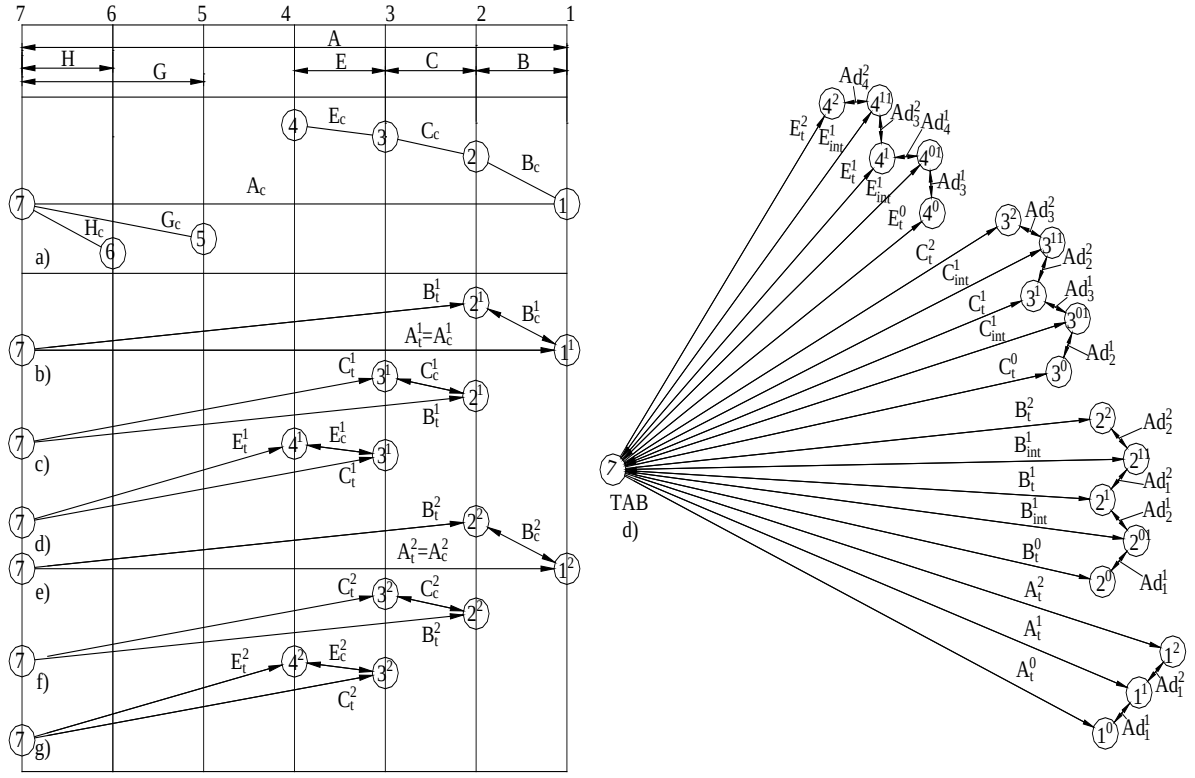


Fig. 4. Example 3 of constructive variant of a detail and the appropriate structures of the dimensional technological links

In a ratio of tolerances ω for the technological elements $i = 1,2$ it is possible to write: $\omega_{A_t^i} \le \omega_{A_c^i}$, $\omega_{B_t^i} + \omega_{A_t^i} \le \omega_{B_c^i}$, $\omega_{C_t^i} + \omega_{B_t^i} \le \omega_{C_c^i}$, $\omega_{E_t^i} + \omega_{C_t^i} \le \omega_{E_c^1}$. From these expressions follow, so as in the previous case, that the accuracy of the technological sizes is higher than the accuracy of the constructive sizes (fig. 3).

Resolving the dimension chains for the machining allowances taking into account the effect of error's compensation one can write down:

$$\omega_{Ad_1^1} = (\omega_{A_t^0} + \omega_{A_t^1}) - 2\omega_{1^0 1^1}^{comp}$$

$$\omega_{Ad_1^2} = (\omega_{A_t^1} + \omega_{A_t^2}) - 2\omega_{1^1 1^2}^{comp}$$

$$\omega_{Ad_2^1} = (\omega_{B_t^0} + \omega_{B_t^1}) - 2\omega^{comp}_{2^0 2^1} + (\omega_{A_t^0} + \omega_{A_t^1}) - 2\omega^{comp}_{1^0 1^1}$$

$$\omega_{Ad_2^2} = (\omega_{B_t^1} + \omega_{B_t^2}) - 2\omega^{comp}_{2^1 2^2} + (\omega_{A_t^1} + \omega_{A_t^2}) - 2\omega^{comp}_{1^1 1^2}$$

$$\omega_{Ad_3^1} = (\omega_{C_t^0} + \omega_{C_t^1}) - 2\omega^{comp}_{3^0 3^1} + (\omega_{B_t^0} + \omega_{B_t^1}) - 2\omega^{comp}_{2^0 2^1}$$

$$\omega_{Ad_3^2} = (\omega_{C_t^1} + \omega_{C_t^2}) - 2\omega^{comp}_{3^1 3^2} + (\omega_{B_t^1} + \omega_{B_t^2}) - 2\omega^{comp}_{2^1 2^2}$$

$$\omega_{Ad_4^1} = (\omega_{E_t^0} + \omega_{E_t^1}) - 2\omega^{comp}_{4^0 4^1} + (\omega_{C_t^0} + \omega_{C_t^1}) - 2\omega^{comp}_{3^0 3^1}$$

$$\omega_{Ad_4^2} = (\omega_{E_t^1} + \omega_{E_t^2}) - 2\omega^{comp}_{4^1 4^2} + (\omega_{C_t^1} + \omega_{C_t^2}) - 2\omega^{comp}_{3^1 3^2}$$

It is evident that the formation of the machining allowance's tolerances is on similar to the previous case. The difference lies in the fact that the machining allowance's tolerances is influenced by the tolerances of the technological sizes of the neighbors in a chain rather than the technological size given from adjustment base.

3. CONCLUSIONS

The schemes of machining with a formation of sizes from technological locating datum surface are characterized by unfavorable conditions of accuracy formation for constructive sizes. In some cases, the machining accuracy can be significantly greater than the accuracy of constructive sizes. The reason for this phenomenon is that the constructive dimensional structure of the part does not coincide with the dimensional structure of the technological system. From the point of view of the accuracy assurance strategy, the optimality of the technological process is ensured by the formation of each constructive size by its corresponding technological size. The machining allowances may have sufficiently large tolerances because their tolerance depends on the multiples change of the technological bases, and the entire size chain to the technological base. High tolerances for the machining allowances require the establishing the large cutting depths which sometimes require an additional operational elements.

References: **1**. Thilak M., Senthil Kumar N., Jayaprakash G. Optimal tolerance allocation through tolerance chain identification system. International Journal of Applied Engineering Research, V10, No78, 2015, pp. 160 – 168; **2**. González Contreras F. An improved tolerance charting technique using an analysis of setup capability. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology. V. 62, Issue 9–12, 2012, pp 1205–1218; **3**. Perminov A. V. The synthesis of dimensional structure of technological processes of machining with the help of a matrix of the dimensional chains. The News of High Schools. Mechanical engineering (Moscow), No 4, 2002, pp 26-30; **4.** Y.A. Mokrushin, V.Y. Shamin, Univ. proc. Volga region. Machine sciences and building, **1**, 123-130 (2013); **5.** E.G. Rahmilevich, Tehnologiâ Mašinostroeniâ, **1**, 53-56 (2013); **6.** W. Li, G. Bai, C. Zhang and B. Wang, Int. J. Prod Research, **38**, 6 (2000); **7.** A. Toca, I. Stingaci, I. Rushica, Proceeding Modern Technologies, Quality and Innovation, 953-956 (2012).

ADVANCE AND SELF-DEVELOPMENT OF TEACHERS AS A PEDEUTOLOGICAL PROBLEM

Приходченко Е.И., Капацина Н.Н. *(ГОУВПО «ДОННТУ», г. Донецк)*
Tel.:071-306-89-14, email:kapanata77@gmail.com)

Abstract: *It is necessary for a future teacher to possess a lot of professional qualities which will help him to solve the problematic situations which will sure arise ahead. Pedeutology is way that tends to decide such situations successfully.*
Key words: *a training engineer, professionally significant qualities, pedeutological approaches in the educational process.*

The origin and development of pedeutology as a branch of scientific knowledge, as a pedagogical subdiscipline, can be attributed to the progressive trends in solving the problems of creativity of future engineers-teachers.

The creative potential of a teacher is inherent in the very essence of the profession. The personality of the teacher, his influence on the student is huge. The question of the requirements is to be put forward to the teacher as a specialist, as well as his compliance with these requirements, which is extremely relevant today. Possession of professionally significant qualities of the modern teacher, assuming their role in professional activities will allow the future teacher to diagnose themselves in order to determine the extent of their professional development formation at a particular stage, to identify ways and means to further development of positive qualities and elimination of negative ones.

Over the past 200 years, the process of professionalization and development of professional competencies of teachers has been taken into account. The need for historical and philosophical analysis of this problem at the beginning of the XXI century is growing exponentially. Pedeutology as a science is considered by such scientists as: S. Banach, T.Lewowicki, N. Kwiatowska, K. Duraj-Nowakowa, A. Katus, Y. I. Prikhodchenko [1-7]. Based on the study of scientific and documentary sources, it is revealed that the problems of training an engineer-teacher are relevant and may interest researchers. Scientific research in this area is carried out in three directions: 1) as special individual research; 2) as a component of individual research (historical, didactic, methodological, etc.); 3) as international projects on the problems of teachers, their creative activity and pedagogical skills. Each of these aspects is extremely important, because it allows you to get significant information about the teacher (their training, conditions of professional activity, professional development, retraining, state policy aimed at supporting teachers, their social protection). Such analytical research materials, obtained at various levels, allow creating unique databases and their subsequent use by international organizations for the preparation of conventions, resolutions, and recommendations for governments around the world. In many fundamental monographic, scientific and methodological works on pedagogy and psychology, much attention is paid to this problem.

First of all, let's pay attention to the methodological work of Professor Tadeusz Lewowicki "on the identity, state and responsibilities of pedagogy". From a philosophical point of view, the author analyzes the problems of humanism and pedagogy, the "conditions of pedagogy" at the beginning of the XXI century, its development and impact on the transformative educational process. Some of the issues which were put forward by T. Levovitsky on educational policy are "from the demon of the past through the chaos of the stage of social change-to a new educational policy", "pedagogy before the moral crisis of the public sphere", "the need for constructive pedagogy".

The problems of the Genesis of pedeutology are scientifically justified and described in the textbook "Pedeutologia", published in Warsaw in 2008. The author is H. Kvyatovskaya

who comprehensively analyzes the evolution of the concept of "teacher", theoretical views on the problem of professional functions of teachers, considers the concepts of their training ("reflexive practices", "through practice", "humanistic concept of teacher training"), as well as professional development. The book focuses on the statement that knowledge is valuable when it helps the learner become more human and humane. After all, humanity, according to Kant is understood as a value only when it helps a person to become a Human being and this humanity must constantly be demonstrated by a Master Teacher.

The implementation of research directions on the problems of pedagogical skills is a matter of many years. This is a great prospect for quite a long time at various levels of society, as well as at the level of educational institutions and research institutions. Along with it, it is important to accentuate the development of the methodological culture of researchers studying the problems of pedeutology, as well as to the search for non-traditional forms of organizing research work.

One of the promising organizational forms of this activity is the creation of joint research units developing pedagogical skills at academic institutions and higher educational institutions. This is the way suggested by academician I. Zyazyun. According to his concept, centers of pedagogical excellence have been created in various regions.

Pedagogical skill, based on the development of the creative potential of teachers, generating new approaches to the learning process, improving existing pedagogical methods and developing new ones, is a workshop for improving the educational process and the emergence of the new pedagogical thinking. In the process of pedagogical action, which is based on the new pedagogical thinking, innovative creative ideas and bold ideas are born. They, in turn, open and strengthen the spiritual and intellectual forces that enrich the didactic process, make it creative, dynamic, such that affect the development of teachers' creativity. In our opinion, the development of innovative processes in modern education requires a systematic approach. It should be taken into account that pedagogical innovation is an important direction in pedagogical science. Its purpose is to study the processes and approaches in updating teaching activities, principles, and methods. It is advisable for the teaching staff to carry out the classification of pedagogical innovations. As you know, innovations in education are systematized by directions, taking into account the scope of application; the scale of transformation and innovation potential; the position in relation to its predecessor; the level of expectation, forecasting and planning; the field of pedagogical knowledge.

Pedagogical creativity and pedagogical skill concepts are related dialectically and mutually dependent; they have a mutual influence on each other; they contribute to the expansion of creative horizons and the introduction of bold projects in the training of masters of engineers- teachers.

This determines the need to continue and simultaneously starts pedeutological research on: the purpose and features of the modern and further development of the creative pedagogical movement in this non-stop process; psychological and social needs for innovative pedagogical actions; laws of development of pedagogical innovation; conditionality at the General educational level of innovative strategies in the preparation of teachers, their continuous professional growth, advance and self-development.

The most important professional qualities of an engineer-teacher include:

- hard work;
- efficiency;
- discipline;
- responsibility;
- ability to set a goal and choose the way to achieve it;
- orderliness;

- persistence;
- systematic and systematic improvement of their professional level;
- the desire to improve the quality of their work constantly.

An essential professional feature of an engineer-teacher is fairness. In addition, he must be demanding, persistent, and always ready to resolve any situation independently. He must be self-controlled and have self-control, be precise and punctual.

Thus, the teacher must constantly and comprehensively develop not only in the field of his specialty, but also in the field of politics, art, General culture; he must be an example of an educated, intellectual and cultural person. Moreover, the human qualities of a teacher are particularly important, which becomes professionally significant qualities for creating favorable relations in the educational process.

References: **1**. Pedeutologia. Cz.Banach//Encyclopedia pedagogiczna XXI wieku. T.IV P. Wydawnietwo "Zak", Warszawa, 2005. – s.301-306. **2.** Lewowciki T. O tozsamosci, kondycij i powinnosciach pedagogik: Warszawa – Radom. Institut Technologii Ekspoloatacji – Panstwowy Institut Badawczy/ 2007 – 283s. **3.** Lewowciki T. Problemy ksztalcenia I pracy nauczycieli. Warszawa – Radom. Institut Technologii Ekspoloatacji – Panstwowy Institut Badawczy/ 2007 – 283s. **4**. Kwiatkowska H. Pedeutologia. Podrcznik. – Wydawnitstwo Academickie i Profesjonalne:Warszawa. 2008. – 260s. **5.** Duraj-Nowakowa K. Systematologiczne inspiracje pedewtologii. – Krakow. – Impuls, 2008. – 316s. **6.** Nowatorstwo pedagogiczne. A. Katus// Encyclopedija pedagogiczna XXI wieku. T.III. M-O. Wydawnictwo Akademickie «Zak». – Warszawa, 2004. – s.703. **7.** Приходченко К.І. Творчий потенціал учителя як основа його педагогічнойї майстерності: навчальний посібник / К.І. Приходченкою – Донецьк, 2011 – 180 с.

СОДЕРЖАНИЕ

Абрахимов И.Р., Степанова Е.А.
ФАКЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ СО СБРОСОМ ГАЗА…… **6**

Азимова Н.Н., Ашихмин Д.В., Ладоша Е.Н., Цымбалова В.М., Яценко О.В.
ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАЗМЕРНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПЫЛИ НА ОСНОВЕ ИНТЕГРАЛЬНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ……. **10**

Акинцева А.В.
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ СИЛЫ РЕЗАНИЯ, ВОЗНИКАЮЩЕЙ В ПРОЦЕССЕ ШЛИФОВАНИЯ КРУГАМИ РАЗЛИЧНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК……... **14**

Аноприенко А.Я.
СИСТЕМОДИНАМИКА ТЕХНОСФЕРЫ КАК НОВОЕ НАУЧНОЕ НАПРАВЛЕНИЕ В ПОНИМАНИИ ПРОШЛОГО И ПРОГНОЗИРОВАНИИ БУДУЩЕГО…….. **18**

Антуфьев Б.А., Белашова И.С., Горшков А.А., Ломовской В.А., Шатохина С.А., Шоршина А.С.
ТЕМПЕРАТУРНО-ЧАСТОТНЫЕ ОБЛАСТИ НЕУПРУГОСТИ И ХАРАКТЕРИСТИКИ ПЕРЕХОДНЫХ РЕЛАКСАЦИОННЫХ ДИССИПАТИВНЫХ ПРОЦЕССОВ В ТВЕРДЫХ МАТЕРИАЛАХ……. **29**

Арутюнян М.Г., Казарян С.Д., Закарян Н.Б., Саргсян Ю.Л., Верлинский С.В.
СОЗДАНИЕ НОВОГО ЭКЗОСКЕЛЕТОНА С ВОЗМОЖНОСТЬЮ РЕКОНФИГУРАЦИИ НА РЕАЛИЗАЦИЮ РАЗЛИЧНЫХ ОПОРНОДВИГАТЕЛЬНЫХ ФУНКЦИЙ…….. **32**

Бахадиров К.Г., Сайдахмедов Р.Х.
АСИММЕТРИЧНАЯ ПРОКАТКА ЛИСТОВОГО СПЛАВА АЛЮМИНИЯ АА1050……... **36**

Бобанова Ж.И., Петренко В.И., Рушика И.Д.
ОСОБЕННОСТИ МИКРОВЫРАВНИВАНИЯ И ФОРМИРОВАНИЯ ШЕРОХОВАТОСТИ ПРИ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОМ ОСАЖДЕНИИ ПОКРЫТИЙ ИЗ СПЛАВОВ Co-W И Fe-W…….. **40**

Борзов Д.Б., Сизов А.С., Дюбрюкс С.А.
ПОДХОД К БЕСПРОВОДНОЙ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ В МУЛЬТИПРОЦЕССОРНЫХ СИСТЕМАХ ДЛЯ ПЕРЕМЕЩАЕМЫХ ОБЪЕКТОВ ПРИЕМА-ПЕРЕДАЧИ…… **45**

Бохонский А.И.
КОЛЕБАНИЯ ФИЗИЧЕСКИ НЕЛИНЕНЙНЫХ СТЕРЖНЕВЫХ СИСТЕМ ПРИ ДИНАМИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЯХ…….. **49**

Бохонский А.И.
ОСОБЕННОСТИ РЕШЕНИЯ ЛИНЕЙНЫХ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ

УРАВНЕНИЙ ДИНАМИКИ УПРУГОЙ СИСТЕМЫ…….. **53**

Бугаев Н.М., Горшков А.А., Коровайцева Е.А., Ломовской В.А., Шатохина С.А., Шоршина А.С.
ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ПРИМЕНЕНИЯ ЯДРА РАБОТНОВА ДЛЯ ОПИСАНИЯ КАК ГЛОБАЛЬНОЙ, ТАК И ЛОКАЛЬНОЙ НЕУПРУГОСТИ, ОПРЕДЕЛЕННОЙ ПО СПЕКТРАМ ВНУТРЕННЕГО ТРЕНИЯ…… **56**

Бутенко В.И., Шаповалов Р.Г.
ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ СОВМЕСТИМОСТЬ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ СЛОЁВ И ПОКРЫТИЙ НА ДЕТАЛЯХ ТРИБОСИСТЕМ……. **59**

Бяков М.А., Буялич Г.Д., Буялич К.Г.
УМЕНЬШЕНИЕ УПЛОТНЯЕМОГО ЗАЗОРА СИЛОВОГО ГИДРОЦИЛИНДРА, РАБОТАЮЩЕГО ПОД ВЫСОКИМ ДАВЛЕНИЕМ……... **64**

Витренко В.А., Ефимов А.А., Михайлова А.Д., Черных В.В.
МНОГОЗАХОДНЫЙ ГИПЕРБОЛОИДНЫЙ ИНСТРУМЕНТ СЛИНЕЙНЫМ КОНТАКТОМ С ОБРАБАТЫВАЕМОЙ ДЕТАЛЬЮ…… **67**

Вишневский С.А., Герасимов А.В.
ФРАГМЕНТИРОВАННОЕ КЭШИРОВАНИЕ В ОБЛАЧНЫХ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМАХ……... **71**

Герасимов А. В., Кирпичников А. П., Сабирова Ф. Р.
АНАЛИЗ УРАВНЕНИЯ ЭНЕРГИИ В СЛУЧАЕ ТЕЧЕНИЙ С ИСТОЧНИКОМ ТЕПЛА, ОГРАНИЧЕННЫМ ПО ПРОДОЛЬНОЙ КООРДИНАТЕ……. **73**

Горбатенко В.П.
УПРОЧНЯЮЩАЯ ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ДВОЙНОЙ ЛАТУНИ С ЗАКАЛКОЙ ИЗ β-ОБЛАСТИ…….. **77**

Горобец И.А., Голубов Н.В., Пикалов Д.А.
ОБЗОР ИССЛЕДОВАНИЙ ПРОЧНОСТИ ИЗДЕЛИЙ ПОЛУЧЕННЫХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ FDM – ТЕХНОЛОГИЙ……. **81**

Горобец И.А., Лапаева И.В., Голубов Н.В.
СОВРЕМЕННЫЕ ВЫЗОВЫ И ОСОБЕННОСТИИ ПОДГОТОВКИ КВАЛИФИЦИРОВАННЫХ ИНЖЕНЕРНЫХ КАДРОВ…….. **86**

Горох Г.Г., Шилько С.В., Лозовенко А.А., Иджи М.М., Рябченко Т.В., Захлебаева А.И.
ПОЛИМЕРСОДЕРЖАЩИЕ НАНОКОМПОЗИТНЫЕ ПОКРЫТИЯ ДЛЯ ИЗДЕЛИЙ МАШИНОСТРОЕНИЯ……. **90**

Гречишкина Н.В.
МЕТОДЫ КОНТРОЛЯ ОБОГАТИТЕЛЬНОЙ СРЕДЫ…… **95**

Григорьева Н.С., Шабайкович В.А.
ОСОБЕННОСТИ РЕОРГАНИЗАЦИИ ПРОИЗВОДСТВА ПРОДУКЦИИ……. **99**

Грубка Р. М., Михайлов А. Н., Петряева И. А., Вильчик А.Г.
КЛАССИФИКАЦИЯ ВИДОВ ПРОДОЛЬНОЙ МОДИФИКАЦИИ ЗУБЬЕВ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ КОЛЕС В ЗАВИСИМОСТИ ОТ КОНСТРУКТИВНЫХ ПРИЗНАКОВ…….. **101**

Гусев Е.Л.
ПРИМЕНЕНИЕ КОМБИНИРОВАННЫХ МЕТОДОВ ОПТИМИЗАЦИИ В УТОЧНЕННЫХ ВАРИАЦИОННЫХ ПОСТАНОВКАХ ЗАДАЧ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ОПРЕДЕЛЯЮЩИХ ХАРАКТЕРИСИК КОМПОЗИТОВ **106**

Девойно О.Г., Кардаполова М.А., Косякова И.М.
К ВОПРОСУ О ЛАЗЕРНОМ МОДИФИЦИРОВАНИИ ИЗДЕЛИЙ ИЗ СЕРОГО ЧУГУНА КАРБИДОМ ВОЛЬФРАМА……... **110**

Девойно О.Г., Кардаполова М.А., Луцко Н.И., Лапковский А.С., Пилецкая Л.И.
ОЦЕНКА УРОВНЯ ОСТАТОЧНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ В 2D И 3D МУЛЬТИМОДАЛЬНЫХ ПОКРЫТИЯХ, НАНЕСЕННЫХ ЛАЗЕРНОЙ НАПЛАВКОЙ…… **114**

Дударев А.С., Каменских Д.Н., Подвинцев А.В.
ИССЛЕДОВАНИЕ ВОПРОСА ЖЕСТКОСТИ СТЕБЛЯ СВЕРЛА **118**

Дуйшеналиев Т.Б., Хроматов В.Е., Щугорев В.Н.
ОПРЕДЕЛЕНИЕ УПРУГИХ КОНСТАНТ ЛАМЕ НА ОСНОВЕ НОВОГО КРИТЕРИЯ……. **122**

Дьяченко В.А., Полищук М. Н., Васильев А.К., Штрекер Д.С.
ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА УДАРНЫХ МАШИН…… **128**

Егоров Н.Т., Крымов В.Н.
ИССЛЕДОВАНИЕ УРОВНЯ И АНИЗОТРОПИИ СВОЙСТВ ТОЛСТОЛИСТОВЫХ НИЗКОЛЕГИРОВАННЫХ СТАЛЕЙ…….. **132**

Егоров П.В., Чупраков М.В., Сухоруков Ю.Г., Гиммельберг А.С., Эрнандес А.Д., Жукова В.С.
ТЕРМИЧЕСКИЙ ДЕАЭРАТОР ПИТАТЕЛЬНОЙ ВОДЫ ДЛЯ ТУРБОУСТАНОВКИ ЭНЕРГОБЛОКОВ ВВЭР-ТОИ №1, 2 Курской АЭС-2 С ТУРБОУСТАНОВКОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ МОЩНОСТЬЮ 1255 МВт…….. **136**

Закурдаев Р.Ю., Чернецкая И.Е., Исаев Е.А.
МЕТОД И УСТРОЙСТВО СИММЕТРИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ В УСЛОВИЯХ АКТИВНО-АДАПТИВНОЙ СЕТИ……. **140**

Заплетников И.Н., Кириченко В.А., Громов С.В.
ОБ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОМ ИЗЛУЧЕНИИ СОРТИРОВОЧНО-КАЛИБРОВОЧНОЙ МАШИНЫ……. **144**

Звягинцева А.В.
ВОССТАНОВЛЕНИЕ СТАЛЬНЫХ КОЛЕНЧАТЫХ ВАЛОВ И ПОЛУЧЕНИЕ

ВКЛАДЫШЕЙ ДЛЯ ДВИТЕЛЕЙ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ…….. **148**

Ивченко Т.Г.
РАСЧЕТ ТЕПЛОВЫХ ПОТОКОВ И ТЕМПЕРАТУР РЕЗАНИЯ ПРИ ТОНКОМ ТОЧЕНИИ ЗАКАЛЕННЫХ СТАЛЕЙ РЕЗЦАМИ ИЗ СТМ…… **152**

Ивченко Т.Г., Бондаренко Д.В.
АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ПАРАМЕТРОВ ОБКАТЫВАНИЯ НА ОСТАТОЧНЫЕ НАПРЯЖЕНИЯ В ПОВЕРХНОСТНОМ СЛОЕ ДЕТАЛЕЙ МАШИН…… **156**

Каракозов А. А., Парфенюк С. Н.
ОБОСНОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ БЕСКЕРНОВОГО БУРЕНИЯ СКВАЖИН УСТАНОВКАМИ СЕРИИ УМБ-130…….. **160**

Кардаполова М.А., Косякова И.М., Болдуева А.А., Николаенко В.Л.
ВЛИЯНИЕ ЛАЗЕРНОЙ ТЕРМООБРАБОТКИ НА ОСТАТОЧНЫЕ НАПРЯЖЕНИЯ САМОФЛЮСУЮЩИХСЯ СПЛАВОВ ЦВЕТНЫХ МЕТАЛЛОВ…….. **167**

Коваленко В.И., Грешникова В. И.
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ СВЕРЛЕНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВИБРАЦИЙ…… **172**

Козак Н. В., Захаров А. С.
РАЗРАБОТКА КОМПОНЕНТОВ КОНФИГУРИРОВАНИЯ ПОЛЬЗОВАТЕЛЬСКОГО ИНТЕРФЕЙСА В ЗАДАЧЕ HMI ДЛЯ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ ОБОРУДОВАНИЕМ…….. **175**

Козыряцкий Л.Н., Шевченко Ф.Л., Божко Р.И.
ПЕРЕМЕЩЕНИЕ ВЕРТИКАЛЬНОГО ТРУБОПРОВОДА ПРИ РАЗЛИЧНЫХ РЕЖИМАХ ДВИЖЕНИЯ ПЛАВСТРЕДСТВА, ПРЕДНАЗНАЧЕННОГО ДЛЯ ДОБЫЧИ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ СО ДНА МИРОВОГО ОКЕАНА…….. **179**

Кондаурова И. А.
ОЦЕНКА ПЕРСОНАЛА КАК ИНСТРУМЕНТ МОТИВАЦИИ ТРУДА…… **186**

Кондратьев А.Г., Игнатов А.В., Власова И.Ю.
МЕТОДИЧЕСКИЙ ПОДХОД К ПРОГНОЗИРОВАНИЮ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИХ И ПРОИЗВОДСТВЕННО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РИСКОВ, ВОЗНИКАЮЩИХ ПРИ СОЗДАНИИ ВЫСОКОТЕХНОЛОГИЧНОЙ ПРОДУКЦИИ…… **189**

Кондуров Е.П., Кругликов П.А., Сухоруков Ю.Г., Хоменок Л.А.
АККУМУЛЯЦИЯ ЭНЕРГИИ – НЕОБХОДИМЫЙ ЭТАП В РАЗВИТИИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ТЕХНОЛОГИЙ…… **193**

Костенко А.В., Игнаткина Е.Л.
ПОДГОТОВКА ИНЖЕНЕРНЫХ КАДРОВ ДЛЯ КАМЧАТСКОГО КРАЯ…….. **198**

Крамаренко Н.В.
ОСОБЕННОСТИ ПРЕПОДАВАНИЯ ТЕОРИИ ПОДОБИЯ СТУДЕНТАМ-МАШИНОСТРОИТЕЛЯМ В НГТУ…… **200**

Лахин А.М., Дьяченко Е.А., Лось Е.П., Пилякин Г.П.
ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОБРАБОТКИ ТОРЦОВЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ЗУБЬЕВ ПЕРЕКЛЮЧАЕМЫХ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС…….. **204**

Лысенкова С. Н., Добровольский Г. И., Волович М. Д.
СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ АВТОМАТИЗАЦИИ УЧЕТА ПРОДАЖ ТОРГОВЫХ ЦЕНТРОВ…… **207**

Макаров В. Ф., Никитин С. П., Песин М. В.
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЛИЯНИЯ ПРОЦЕССА ГЛУБИННОГО ШЛИФОВАНИЯ НА ПОКАЗАТЕЛИ КАЧЕСТВА ПОВЕРХНОСТИ И ПРЕДЕЛ ВЫНОСЛИВОСТИ ЛОПАТОК ГТД……. **210**

Малахов Р.В., Степанова Е.А.
ПЕРВИЧНАЯ ПОДГОТОВКА И ОЧИСТКА ГАЗА НА ПРИМЕРЕ НИЗКОТЕМПЕРТАУРНОЙ СЕПАРАЦИИ……... **213**

Мельникова Е.П., Калинин А.В.
АНАЛИЗ И КЛАССИФИКАЦИЯ ПОВРЕЖДЕНИЙ КОНТЕЙНЕРОВ ДЛЯ ТРАНСПОРТИРОВКИ И ХРАНЕНИЯ ГРУЗОВ…….. **216**

Менжулина А.С., Каверина О.Г., Приходченко Е.И.
РАЗВИТИЕ ПРОФЕССИОНАЛЬНЫХ КАЧЕСТВ У СТУДЕНТОВ ИНЖЕНЕРНЫХ СПЕЦИАЛЬНОСТЕЙ В ПРОЦЕССЕ ДИВЕРСИФИКАЦИОННОЙ ПОДГОТОВКЕ……... **219**

Мирошников В.В., Богданов В.П.
ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТИ МАГНИТНОГО КОНТРОЛЯ КРУПНОГАБАРИТНЫХ ИЗДЕЛИЙ……. **223**

Михайлов А. Н., Котляров Б. С. , Котляров В. Б., Котляров С. Б.
СХЕМА МЕХАНИЧЕСКОЙ ЗУБЧАТОЙ КПП С ПЕРЕКЛЮЧЕНИЕМ ПЕРЕДАЧ БЕЗ РАЗРЫВА ПОТОКА ПЕРЕДАВАЕМОЙ МОЩНОСТИ……... **230**

Михайлов Д. А., Шейко Е.А., Михайлов В.А., Михайлов А.Н.
ОБЩИЙ ПОДХОД СИНТЕЗА КОМПЛЕКСНОГО МНОГОСВЯЗНОГО ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ОБЕСПЕЧЕНИЯ ФУНКЦИОНАЛЬНО-ОРИЕНТИРОВАННЫХ СВОЙСТВ ГАЗОТУРБИННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ…… **235**

Михайлов Д.Л., Ермишкин В.А., Минина Н.А.
КОМПЛЕКСНЫЙ АНАЛИЗ КОРРОЗИОННОЙ СТОЙКОСТИ Ni-Cr-Mo СПЛАВА ФОТОМЕТРИЧЕСКИМ МЕТОДОМ…… **254**

Михайлов А.Н., Стрельник Ю.Н., Навка И.П., Лукичев А.В., Матвиенко С.А.
СТАТИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ОТКАЗОВ СИСТЕМ АВТОБУСОВ

МАЗ И ФАКТИЧЕСКОГО РЕСУРСА ЕГО ШАРОВЫХ
ШАРНИРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ…….. **259**

Невмержицкая Г.В., Шлюшенков А.П.
РАСЧЕТНАЯ ОЦЕНКА НАДЕЖНОСТИ ПОДШИПНИКА БУКСЫ ВАГОНА
ПО КРИТЕРИЮ УСТАЛОСТНОГО ВЫКРАШИВАНИЯ **263**

Непомилуев В.В., Семенов А.Н., Задорина Н.А.
ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА ИЗГОТОВЛЕНИЯ ВЫСОКОТОЧНЫХ ИЗДЕЛИЙ
НА ОСНОВЕ ТЕХНОЛОГИИ ВИРТУАЛЬНОЙ СБОРКИ…….. **267**

Осипок Т.В., Зайдес С.А.
ОЦЕНКА НЕОДНОРОДНОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ МЕХАНИЧЕСКИХ
СВОЙСТВ В ЛИСТОВОМ ПРОКАТЕ……... **271**

Павлыш В.Н., Бурлаева Е.И., Дегонский А.И.
ЗАДАЧИ ФОРМИРОВАНИЯ ИНФОРМАЦИОННОЙ БАЗЫ В СИСТЕМАХ
МЕДИЦИНСКОЙ И ТЕХНИЧЕСКОЙ ДИАГНОСТИКИ…… **275**

Павлыш В.Н., Зайцева М.Н.
ПРИМЕНЕНИЕ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ РЕАЛИЗАЦИИ
КОМПЛЕКСА ЛИНГВИСТИЧЕСКИХ УПРАЖНЕНИЙ В СИСТЕМЕ
ОБУЧЕНИЯ ИНОСТРАННОМУ ЯЗЫКУ…….. **279**

Павлыш В.Н., Лазебная Л.А.
ПРИМЕНЕНИЕ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ В СИСТЕМЕ
УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ ГИДРАВЛИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА
АНИЗОТРОПНЫЙ УГОЛЬНЫЙ ПЛАСТ……. **283**

Павлыш В.Н., Перинская Е.В.
ПРИМЕНЕНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ В
СИСТЕМЕ АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ АППАРАТОВ
КОНВЕКТИВНОГО ТИПА…….. **287**

Пантелеенко Ф. И., Оковитый В. А., Девойно О. Г., Сидоров В. А., Оковитый В. В., Асташинский В.М.
РАЗРАБОТКА КОМПЛЕКСА ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ НАНЕСЕНИЯ
ПЛАЗМЕННЫХ ИЗНОСОСТОЙКИХ ПОКРЫТИЙ……. **291**

Петряева И.А., Безщекий П.Н., Гученко В.Ю., Недашковский А.П.
ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОВЫХ ПРОЦЕССОВ ПРИ ТОЧЕНИИ С УЧЕТОМ
ИЗНОСА РЕЖУЩЕЙ ЧАСТИ ИНСТРУМЕНТА…….. **297**

Побегайло П.А., Крицкий Д.Ю.
ПУТЬ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ПРОЦЕССА ЭКСПЛУАТАЦИИ
ЭКСКАВАТОРОВ……. **303**

Поветкин В.В., Букаева А.З., Орлова Е.П., Бектибай Б.Ж.
СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ КОНСТРУКЦИИ ТЕРМОИНСТРУМЕНТОВ ДЛЯ
РАЗРУШЕНИЯ ГОРНЫХ ПОРОД……. **310**

Поветкин В.В., Нурмуханова А.З., Ермеков Д.К., Букаева А.З., Исаева И.Н.
УПРОЧНЯЮЩИЕ ГАЗОПЛАМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ОБОРУДОВАНИЕ.. **315**

Прейс В.В.
ЭВОЛЮЦИЯ МЕХАНИЧЕСКИХ ДИСКОВЫХ БУНКЕРНЫХ ЗАГРУЗОЧНЫХ УСТРОЙСТВ ДЛЯ ДЕТАЛЕЙ С НЕЯВНОЙ АСИММЕТРИЕЙ ТОРЦОВ……. **320**

Ракунов Ю. П., Абрамов В. В., Ракунов А. Ю.
СОВРЕМЕННАЯ ПРОМЫШЛЕННАЯ РЕВОЛЮЦИЯ И СИСТЕМНАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ РОССИЙСКОЙ ЭКОНОМИКИ……. **323**

Рахимов Р.Р., Исрафилов И.Х., Звездин В.В., Саубанов Р.Р.
ОСОБЕННОСТИ ПРОЦЕССА ЛАЗЕРНОЙ СВАРКИ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ИЗДЕЛИЙ……... **331**

Розоринов Г.Н.
КЛАССИФИКАЦИЯ УГРОЗ ВАЖНЫМ ОБЪЕКТАМ ЭНЕРГЕТИКИ……. **335**

Романчук И.А., Голубев В.С., Вегера И.И.
ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ УПРОЧНЯЮЩИХ ПОКРЫТИЙ ПРИ ПЛАЗМЕННОЙ ПОРОШКОВОЙ НАПЛАВКЕ……... **342**

Рябичев В.Д., Витренко В.А.
ОСНОВНЫЕ НАУЧНЫЕ РАЗРАБОТКИ УЧЕНЫХ ЛУГАНСКОГО НАЦИОНАЛЬНОГО УНИВЕРСИТЕТА ИМЕНИ ВЛАДИМИРА ДАЛЯ……. **346**

Савин Л.А., Корнаев А.В., Корнаев Н.В., Фетисов А.С.
МЕХАТРОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ПОДШИПНИКОВЫХ УЗЛАХ НАСОСНЫХ АГРЕГАТОВ…….. **350**

Селивра С.А., Ягупов О.В.
ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОЧЕГО ПРОЦЕССА ГИДРАВЛИЧЕСКОГО УСТРОЙСТВА УДАРНОГО ДЕЙСТВИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЕГО РАЦИОНАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ……... **353**

Семенов А. Н., Непомилуев В.В.
СИСТЕМНЫЙ ПОДХОД К СБОРКЕ БАНДАЖИРОВАННЫХ РАБОЧИХ КОЛЕС ТУРБОМАШИН…… **359**

Симкин А.З., Можаева Т.П., Проскурин А.С.
ПРОЦЕССНЫЙ ПОДХОД К ПОДГОТОВКЕ СПЕЦИАЛИСТОВ В ТЕХНИЧЕСКОМ ВУЗЕ…… **362**

Скворцов А.И., Бердов Д.А.
ВЛИЯНИЕ ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ ПРИ КОМНАТНОЙ ТЕМПЕРАТУРЕ И ПОСЛЕДУЮЩЕГО ОТЖИГА НА СТРУКТУРУ И ТВЕРДОСТЬ СПЛАВА Al–22%Zn……. **366**

Татьянченко А.Г.
ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ПРОДОЛЬНОГО ПРОФИЛЯ ОТВЕРСТИЯ ПРИ ЧИСТОВОЙ ОБРАБОТКЕ ОСЕВЫМ ИНСТРУМЕНТОМ… **369**

Токарев А.С.
МОДЕРНИЗАЦИЯ УСТАНОВОК НАНЕСЕНИЯ ПОКРЫТИЙ В ВАКУУМЕ… **372**

Тюрин А.Н., Тюрин Н.А.
МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ОБРАЗОВАНИЯ КРИТИЧЕСКОЙ ГЛУБИНЫ РЕЗАНИЯ ПРИ СУПЕРФИНИШНОЙ ОБРАБОТКЕ……... **375**

Федоров В. П., Нагоркин М. Н., Кельнер А. А.
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНО-АНАЛИТИЧЕСКИЙ МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ШЕРОХОВАТОСТИ ПРИ ТОЧЕНИИ С УЧЕТОМ КОЛЕБАНИЙ…… **378**

Федоров В. П., Нагоркин М. Н., Ковалева Е.В., Нагоркина Е.М.
НАДЕЖНОСТЬ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ НОРМАЛЬНОЙ КОНТАКТНОЙ ЖЕСТКОСТИ ПЛОСКИХ СТЫКОВЫХ СОЕДИНЕНИЙ ПОВЕРХНОСТЕЙ ДЕТАЛЕЙ МАШИН ПРИ СТАТИЧЕСКИХ НАГРУЗКАХ… **382**

Федуков А.Г., Хандожко А.В., Польский Е.А.
ВЛИЯНИЕ МОМЕНТА ЗАТЯЖКИ ВИНТОВ НА КОНТАКТНОЕ СБЛИЖЕНИЕ ПЛОСКОГО СТЫКА В ТЕХНОЛОГИЧЕСКОМ ОБОРУДОВАНИИ НА БАЗЕ УНИФИЦИРОВАННЫХ МОДУЛЕЙ……. **386**

Хавлин Т.В., Михайлов А. Н., Глухов С.В.
СИНТЕЗ ТИПОВОГО ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ПОДГОТОВКИ ПОВЕРХНОСТИ ПЕРА ЛОПАТКИ ТУРБИНЫ К НАНЕСЕНИЮ ЗАЩИТНОГО ПОКРЫТИЯ……. **390**

Хазов А.В., Унянин А.Н.
ВЛИЯНИЕ УСЛОВИЙ И РЕЖИМА ПЛОСКОГО ШЛИФОВАНИЯ С НАЛОЖЕНИЕМ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ КОЛЕБАНИЙ НА ТЕМПЕРАТУРНОЕ ПОЛЕ…….. **394**

Царенко С.Н., Набокин В.Н.
УСТОЙЧИВОСТЬ ЛИСТОВОЙ РЕССОРЫ МЕХАНИЗМА КАЧАНИЯ КРИСТАЛЛИЗАТОРА…….. **398**

Царенко С.Н., Языков М.И.
ИССЛЕДОВАНИЕ СОБСТВЕННЫХ ЧАСТОТ ВЕСОМОЙ БАЛКИ С ПРОИЗВОЛЬНЫМ КОЛИЧЕСТВОМ ДИСКРЕТНЫХ МАСС……... **401**

Цымбалов Д.С., Яценко О.В.
УТОЧНЕННЫЕ ОЦЕНКИ СОДЕРЖАНИЯ OH- И NO-РАДИКАЛОВ В РЕАКТИВНЫХ ВЫБРОСАХ СОВРЕМЕННЫХ РАКЕТ-НОСИТЕЛЕЙ…… **404**

Чернышев Е.А., Захарченко Н.А.
ИССЛЕДОВАНИЕ НАКЛОНА ИНСТРУМЕНТА В ТЕХНОЛОГИЧЕСКОМ

РОТОРЕ С НАКЛОННОЙ ПЛАНШАЙБОЙ……. **407**

Шабайкович В.А., Григорьева Н.С.
МАЛОЗАТРАТНОЕ ПРОИЗВОДСТВО КОНКУРЕНТНОЙ ПРОДУКЦИИ……. **410**

Шолковый А.А., Костенко А.В., Кириченко В.В.
СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ПРОМЫШЛЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ……. **416**

Щугорев В.Н., Радин В.П., Дуйшеналиев Т Б., Чирков В.П., Горбачев П.А., Щугорев А.В
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ОЦЕНКА ЛОГАРИФМИЧЕСКОГО ДЕКРЕМЕНТЕ ЗАТУХАНИЯ БАЛКИ ИЗ СЛОИСТОГО КОМПОЗИТА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДА АУДИОРЕГИСТРАЦИИ……. **419**

Щугорев В.Н., Хроматов В.Е., Сапунова Л.С., Цой В.Э,, Мурзаханов Г.Х., ЩугоревА.В
СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ДЕКРЕМЕНТОВ ЗАТУХАНИЯ КОНСОЛЬНЫХ БАЛОК ИЗ РАЗЛИЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ МЕТОДАМИ СКОРОСТНОЙ ВИДЕО ФИКСАЦИИ……... **423**

Babayan A.A.
PRESSING PROCESS STUDY IN A CONICAL DIE OF A THIN-WALLED PIPE UNDER HIGH INTERNAL PRESSURE…… **427**

Dzhura S.G., Chursinov V.I., **Chursinova A.A.**
TOWARDS META-PEDAGOGY…….. **431**

Panteleenko F.I., Okovity V.A., Astashinsky V.M., Devoino O.G, Okovity V.V.
DEVELOPMENT OF PRINCIPLES OF MODIFICATION BY HIGH-ENERGY PLASMA EXPOSURE OF COATINGS FROM CERAMICS WITH THE APPLICATION OF ADDITIVES OF REFINING METALS…… **436**

Toca A., Stroncea A., Rushica I., Nitulenco T.
DIMENSIONAL ACCURACY OF MACHINING TECHNOLOGIES…… **440**

Приходченко Е.И., Капацина Н.Н.
ADVANCE AND SELF-DEVELOPMENT OF TEACHERS AS A PEDEUTOLOGICAL PROBLEM……. **446**

СОДЕРЖАНИЕ

Astashinsky V.M. 436
Babayan A.A. 427
Chursinov V.I. 431
Chursinova A.A. 431
Devoino O.G. 436
Dzhura S.G. 431
Nitulenco T. 440
Okovity V.A. 436
Okovity V.V. 436
Panteleenko F.I. 436
Rushica I. 440
Stroncea A. 440
Тоса А. 440
Абрамов В. В. 323
Абрахимов И.Р. 6
Азимова Н.Н. 10
Акинцева А.В. 14
Аноприенко А.Я. 18
Антуфьев Б.А. 29
Арутюнян М.Г. 32
Асташинский В.М. 291
Ашихмин Д.В. 10
Бахадиров К.Г. 36
Безщекий П.Н. 297
Бектибай Б.Ж. 310
Белашова И.С. 29
Бердов Д.А. 366
Бобанова Ж.И. 40
Богданов В.П. 223
Божко Р.И. 179
Болдуева А.А. 167
Бондаренко Д.В. 156
Борзов Д.Б. 45
Бохонский А.И. 49, 53
Бугаев Н.М. 56
Букаева А.З. 315, 310
Бурлаева Е.И. 275
Бутенко В.И., 59
Буялич Г.Д. 64
Буялич К.Г. 64
Бяков М.А. 64
Васильев А.К., 128
Вегера И.И. 342
Верлинский С.В. 32
Вильчик А.Г. 101
Витренко В.А. 67, 346
Вишневский С.А. 71
Власова И.Ю. 189
Волович М. Д. 207
Герасимов А. В. 71, 73
Гиммельберг А.С. 136
Глухов С.В. 390
Голубев В.С. 342
Голубов Н.В. 81, 86
Горбатенко В.П. 77
Горбачев П.А. 419
Горобец И.А., 81, 86
Горох Г.Г., 90
Горшков А. А. 29, 56
Гречишкина Н.В. 95
Грешникова В. И. 172
Григорьева Н.С. 99, 410
Громов С.В. 144
Грубка Р. М. 101
Гусев Е.Л. 106
Гученко В.Ю. 297
Девойно О. Г. 110, 291, 114
Дегонский А.И. 275
Добровольский Г. И. 207
Дударев А.С. 118
Дуйшеналиев Т Б. 122, 419
Дьяченко В.А. 128
Дьяченко Е.А. 204
Дюбрюкс С.А. 45
Егоров Н.Т. 132
Егоров П.В., 136
Ермеков Д.К. 315
Ермишкин В.А. 254
Ефимов А.А. 67
Жукова В.С. 136
Задорина Н.А. 267
Зайдес С.А. 271
Зайцева М.Н. 279
Закарян Н.Б. 32
Закурдаев Р.Ю. 140
Заплетников И.Н. 144
Захаров А. С. 175
Захарченко Н.А. 407
Захлебаева А.И. 90
Звездин В.В. 331
Звягинцева А.В. 148
Ивченко Т.Г. 152, 156
Игнаткина Е.Л. 198
Игнатов А.В., 189
Иджи М.М. 90
Исаев Е.А. 140

Исаева И.Н. 315
Исрафилов И.Х. 331
Каверина О.Г. 219
Казарян С.Д. 32
Калинин А.В. 216
Каменских Д.Н. 118
Капацина Н.Н. 446
Каракозов А. А. 160
Кардаполова М.А. 110, 114, 167
Кельнер А. А. 378
Кириченко В.А. 144
Кириченко В.В. 416
Кирпичников А. П. 73
Ковалева Е.В. 382
Коваленко В.И. 172
Козак Н. В. 175
Козыряцкий Л.Н. 179
Кондаурова И. А. 186
Кондратьев А.Г. 189
Кондуров Е.П. 193
Корнаев А.В. 350
Корнаев Н.В. 350
Коровайцева Е.А. 56
Костенко А.В. 198, 416
Косякова И.М. 110
Косякова И.М. 167
Котляров Б. С. 230
Котляров В. Б. 230
Котляров С. Б. 230
Крамаренко Н.В. 200
Крицкий Д.Ю. 303
Кругликов П.А. 193
Крымов В.Н.
Ладоша Е.Н.
Лазебная Л.А. 132
Лапаева И.В. 10
Лапковский А.С. 283
Лахин А.М. 86
Лозовенко А.А. 114
Ломовской В.А. 204
Лось Е.П. 90
Лукичев А.В. 29, 56
Луцко Н.И. 114
Лысенкова С. Н. 207
Макаров В. Ф. 210
Малахов Р.В. 213
Матвиенко С.А. 259
Мельникова Е.П. 216
Менжулина А.С. 219
Минина Н.А. 254
Мирошников В.В. 223
Михайлов А. Н. 101, 230, 390, 235, 259
Михайлов В.А. 235
Михайлов Д. А. 235
Михайлов Д.Л. 254
Михайлова А.Д. 67
Можаева Т.П. 362
Мурзаханов Г.Х. 423
Набокин В.Н. 398
Навка И.П., 259
Нагоркин М. Н. 378, 382
Нагоркина Е.М. 382
Невмержицкая Г.В. 263
Недашковский А.П. 297
Непомилуев В.В. 267, 359
Никитин С. П. 210
Николаенко В.Л. 167
Нурмуханова А.З. 315
Оковитый В. А. 291
Оковитый В. В. 291
Орлова Е.П. 310
Осипок Т.В. 271
Павлыш В.Н. 275, 279, 283, 287
Пантелеенко Ф. И. 291
Парфенюк С. Н. 160
Перинская Е.В. 287
Песин М. В. 210
Петренко В.И. 40
Петряева И. А. 101, 297
Пикалов Д.А. 81
Пилецкая Л.И. 114
Пилякин Г.П. 204
Побегайло П.А. 303
Поветкин В.В. 310, 315
Подвинцев А.В. 118
Полищук М. Н., 128
Польский Е.А. 386
Прейс В.В. 320
Приходченко Е.И. 219, 446
Проскурин А.С. 362
Радин В.П. 419
Ракунов А. Ю. 323
Ракунов Ю. П. 323
Рахимов Р.Р. 331

Розоринов Г.Н. **335**
Романчук И.А. **342**
Рушика И.Д. **40**
Рябичев В.Д. **346**
Рябченко Т.В. **90**
Сабирова Ф. Р. **73**
Савин Л.А. **350**
Сайдахмедов Р.Х. **36**
Сапунова Л.С. **423**
Саргсян Ю.Л. **32**
Саубанов Р.Р. **331**
Селивра С.А. **353**
Семенов А. Н. **267, 359**
Сидоров В. А. **291**
Сизов А.С. **45**
Симкин А.З. **362**
Скворцов А.И. **6, 213, 366**
Стрельник Ю.Н. **259**
Сухоруков Ю.Г. **136, 193**
Татьянченко А.Г. **369**
Токарев А.С. **372**
Тюрин А.Н. **375**
Тюрин Н.А. **375**
Унянин А.Н. **394**
Федоров В. П. **378, 382**
Федуков А.Г. **386**
Фетисов А.С. **350**
Хавлин Т.В. **390**
Хазов А.В. **394**
Хандожко А.В. **386**
Хоменок Л.А. **193**
Хроматов В.Е. **122, 423**
Царенко С.Н. **398, 401**
Цой В.Э **423**
Цымбалов Д.С. **404**
Цымбалова В.М. **10**
Чернецкая И.Е. **140**
Черных В.В. **67**
Чернышев Е.А. **407**
Чирков В.П. **419**
Чупраков М.В. **136**
Шабайкович В.А. **99, 410**
Шаповалов Р.Г. **59**
Шатохина С.А. **29, 56**
Шевченко Ф.Л. **179**
Шейко Е.А. **235**
Шилько С.В., **90**
Шлюшенков А.П. **263**
Шолковый А.А. **416**
Шоршина А.С. **29, 56**
Штрекер Д.С. **128**
Щугорев А.В. **419,423**
Щугорев В.Н. **122, 419, 423**
Эрнандес А.Д. **136**
Ягупов О.В. **353**
Языков М.И. **401**
Яценко О.В. **10, 404**

XXVII международная
научно-техническая конференция

«МАШИНОСТРОЕНИЕ И ТЕХНОСФЕРА XXI ВЕКА»

Сборник трудов

ISSN 2079-2670

Главный редактор
д-р техн. наук, проф. А.Н. Михайлов
E-mail: *tm@fimm.donntu.org*
Технический редактор И. А. Петряева

Учредитель и издатель – ДОНЕЦКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

Адрес издателя: ДНР, 83001, г. Донецк, ул. Артема, 58, ГОУВПО «ДОННТУ», тел. +38 (062) 337-17-33, 335-75-62
Адрес редакции: ДНР, 83001, г. Донецк, ул. Артема, 58, тел.+ 38 (071) 306-08-79, +38 (062) 301-08-05. E-mail: tm@fimm.donntu.org. Сайт: http://konf-sev.donntu.org

Подписано к печати 30.06.2020 г.
Формат 60x84$^{1/16}$. Бумага Maestro.
Гарнитура «Times New Roman». Печать лазерная.
Усл. печ. л. 17,59. Уч.-изд. л. 19,35. Тираж 100 экз.

Отпечатано в рекламно-издательском отделе учредителя
РИО «Донецкая политехника»
Адрес: г. Донецк, ул. Артема, 58
Тел.: +38 (062) 301-09-67