XXV МНТК МАШИНОСТРОЕНИЕ И ТЕХНОСФЕРА XXI ВЕКА

Том 1
2018

МАШИНОСТРОЕНИЕ И ТЕХНОСФЕРА XXI ВЕКА

Сборник трудов XXV международной научно-технической конференции

Том 1

2018 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», ЧП «Депла»

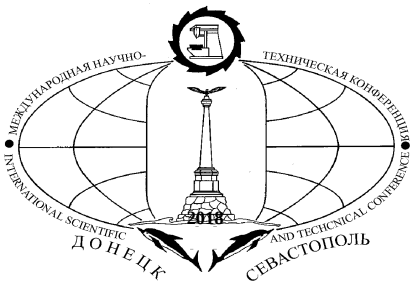
МАШИНОСТРОЕНИЕ И ТЕХНОСФЕРА XXI ВЕКА

Сборник трудов

Том 1

XXV
МЕЖДУНАРОДНОЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ

10 - 16 сентября 2018 г. в городе Севастополе



Донецк-2018

ББК К5я54
УДК 621.01(06)

Машиностроение и техносфера XXI века // Сборник трудов XXV международной научно-технической конференции в г. Севастополе 10-16 сентября 2018 г. В 2-х томах. – Донецк: ДонНТУ, 2018. Т. 1. – 327 с.

ISSN 2079-2670

В сборник включены материалы XXV 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 - 2018»

Адрес международного организационного комитета:
ДНР, 283001, г. Донецк, ул. Артема 58, ДонНТУ
Тел.: +38 (062) 305-01-04, факс: +38 (062) 305-01-04
Моб. тел. +38 (071) 3060879
E-mail: *mntk21@mail.ru*
http://konf-sev.donntu.org или http://konf-sev.donntu.ru

© Авторы статей, 2018 г.
© ДонНТУ, 2018 г.

ISSN 2079-2670

МЕЖДУНАРОДНЫЙ ПРОГРАММНЫЙ КОМИТЕТ КОНФЕРЕНЦИИ

Председатель: Министр промышленности и торговли ДНР **Грановский А.И.**

Сопредседатели: зам. Министра образования и науки ДНР, к.т.н., профессор **Аноприенко А.Я.;** ректор ДонГТУ, к.э.н., доц. **Зинченко А.М.** (ЛНР)**;** ректор КамчатГТУ, д.соц.н., проф. **Левков С.А.** (Россия)**;** ректор ДонНТУ, д.т.н., профессор **Маренич К.Н.** (ДНР)**;** 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.;** проректор по научной работе 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.;** профессор Туркменского политехнического института, д.т.н. **Курбанов Х.К.;** 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.;** профессор БНТУ, д.т.н. **Маляренко А.Д.;** профессор ТУМ, д.т.н. **Марин А.З.**; директор СПТК, к.п.н. **Медведь В.В.;** 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.;** нач. отдела машиностроения Министерства промышленности и торговли ДНР **Наконечный А.А.;** зам директора ДФ ОАО «Авиатех» **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.;** 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.;** зам. директора Департамента металлургии и тяжелого машиностроения Минпромторга России **Тарасов А.Н.;** 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.;** профессор Новополоцкого технического университета, д.т.н. **Хейфец М.Л.;** 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 – ст. преподаватель кафедры ТМ ДонНТУ **Голубов Н.В.**

Технический секретарь - ассистент кафедры ТМ ДонНТУ, к.т.н. **Петряева И.А.**

Члены: доктор Багдадского ТУ, к.т.н., доцент **Аль-Судани Т.Т.;** доцент кафедры ТМ ДонНТУ, к.т.н. **Байков А.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.;** научн. сотрудник кафедры ТМ ДонНТУ **Головятинская В.В.**; 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.;** доцент кафедры ТМ ДонНТУ, к.т.н. **Ищенко А.Л.;** 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;** зав. кафедрой КамчатГТУ, к.т.н., доц. **Костенко А.В.;** 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.;** зав. кафедрой ТУМ, к.т.н. **Мазуру С.;** 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.;** аспирант кафедры ТМ ДонНТУ **Петров М.Г.;** соискатель кафедры ТМ ДонНТУ **Пичко А.П.;** доцент кафедры ТУМ **Рушика И.Д.;** ст. преподаватель ДААТ **Стрельник Ю.Н.;** ассистент ДонГТУ **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 кафедры ГЗТиЛ ДонНТУ, к.т.н. **Шейко Е.А.;** доцент СевГУ, к.т.н. **Шрон Л.Б.**

Уважаемые дамы и господа, дорогие друзья и коллеги!

Хочу отметить, что в этом году в городе Севастополе проводится уже XXV международная научно-техническая конференция «Машиностроение и техносфера XXI века», это юбилейная для нас конференция. Двадцать пять лет подряд организационный комитет собирает участников этих конференций, ведущих и молодых ученых, а также специалистов из различных стран. Это, конечно, большое, значимое и знаковое событие для подобных мероприятий, которое позволяет консолидировать ученых, специалистов, представителей промышленных предприятий для содействия развитию машиностроения и техносферы в условиях видоизменяющейся глобальной экономики. Многолетнее проведение этих встреч позволяет наметить основные ориентиры, определить вектор прогрессивного развития машиностроения и техносферы, а также подвести итоги развития новой техники и технологий.

Главным в работе данной конференции является обмен научно-технической информацией, определение перспективных путей создания и развития новой техники и технологий, разработка совместных научных программ, развитие международного сотрудничества, установление деловых контактов и коммерческих связей в данной области.

Именно в этот период, в юбилейный год конференции, целесообразно подводить итоги этих встреч. Конечно, перечисление всех основных событий, происходящих на наших конференциях и благодаря проведению этих конференций очень сложно и длительно во времени. Поэтому отмечу только некоторые, наиболее значительные и важные результаты конференций:

- в работе конференций приняло участие около 5500 участников, это молодые и ведущие ученые и специалисты из 33 стран мира;
- для работы конференций издано более 80 сборников научных трудов конференции, в которых опубликовано более 6000 тезисов докладов и статей участников конференции;
- на конференции рассмотрены, обсуждены и рекомендованы к защите более 35 докторских и 120 кандидатских диссертационных работ;
- начато проведение научно-технических, научно-практических, методических конференций и семинаров в 10 странах мира;
- организованы международные общественные организации в трех странах мира и множество других важных и нужных событий происходило за этот период.

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.

Организационный комитет конференции убежден, что эта встреча традиционно пройдет творчески и плодотворно, будет способствовать консолидации ученых и специалистов различных стран, широкому обмену информации научно-технической характера, а также даст необходимый творческий импульс для дальнейшего развития машиностроения и техносферы.

С наилучшими пожеланиями

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

ОСНОВЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ СИСТЕМ

Аверченков В.И., Надуваев В.В., Фролов Е.Н. *(БГТУ, г. Брянск, Российская Федерация)*
Тел./Факс: (4832) 58-82-20; E-mail: aver@tu-bryansk.ru

Abstract: *The analysis of model types, as well as the design sequence for production systems operating in real production conditions in the machine-building complex is presented.*
Key words: *models, systems, stages, design stages, planning, performance criteria, structures.*

Главным и основным признаком моделей по определению должен быть признан вид подобия модели и объекта.

Однако, видов подобия может быть бесчисленное множество, поэтому предложить всеобъемлющую и в тоже время обозримую классификацию по одному признаку практически невозможно.

По этой причине в основу первичной классификации моделей чаще всего закладывают другой признак, а именно – «способ представления объекта». Это объясняется тем, что каждому виду подобия свойственен один или несколько способов представления объекта. Эти способы в определенной мере отражают и само подобие. Но в отличие от последнего, они повторяются, их количество ограничено, и они хорошо поддаются группированию. Это и используется для классификации, которая представлена на рис. 1.

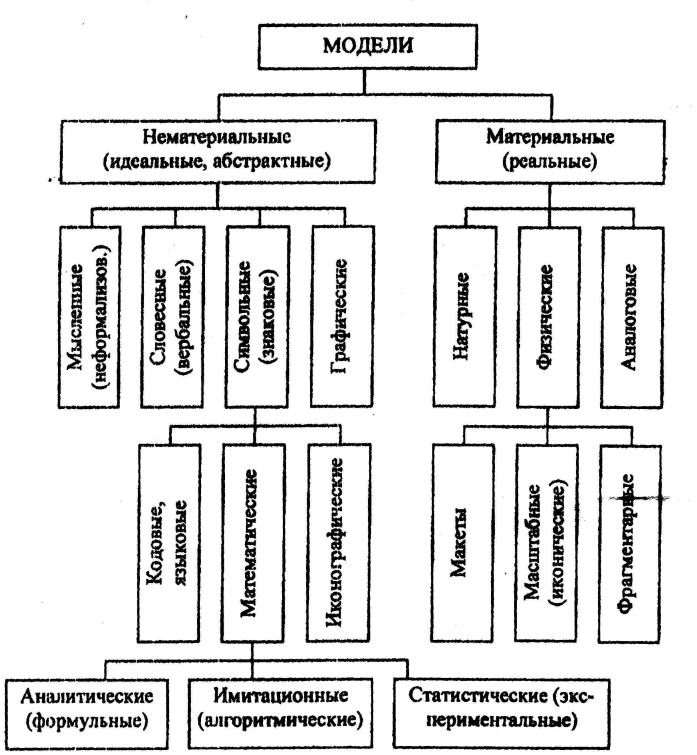


Рис. 1. Классификация видов моделей

Приведенная классификация достаточно условна и не всегда однозначна. Конкретная модель – это чаще всего комбинация или последовательная трансформация моделей различного вида.

Основным видом моделирования систем является математическое моделирование, т.к. оно самое доступное, универсальное, малотрудоемкое и экономичное.

Сдерживающими факторами применения математического моделирования являются следующие:

– часто не хватает объективных знаний об объекте;

– даже то, что знаем, не всегда умеем формализовать;

– требуется специальная математическая подготовка;

– нет полного доверия к результатам, т.к. надежные методы проверки адекватности вне практики отсутствуют.

Для описания производственных систем - ПС нас, прежде всего, интересуют модели функционирования, которые делятся на аналитические и имитационные.

Аналитическое моделирование основано на косвенном описании объекта формулами. Результат получается вычислением. Прямых аналогов элементов, связей и процессов объекта модели нет.

Имитационное моделирование основано на прямом описании элементов объекта и непосредственном воспроизведении процесса его функционирования. Результат получается сбором статистики по ходу моделирования. Имеется явное структурное и процессное подобие объекта и модели.

В качестве основного метода математического моделирования сложных систем на сегодня утвердилось имитационное моделирование. Оно обладает практически неограниченными возможностям, способно заменить любой из аналитических методов, а само является зачастую единственно возможным методом.

Стадии моделирования обычно совпадают с перечнем компонентов моделирования, а именно:

-. разработка модели;

- исследование самой модели;

- экспериментирование на модели для исследования объекта.

Стадия разработки модели наиболее сложная. Здесь больше всего неясностей, неопределенности и вариантов. Требуется неформальный, творческий подход, высокая квалификация в предметной области и в области моделирования.

Вторая и третья стадия проще. Здесь вступают в силу универсальные математические методы, хорошо отработанные методика и готовые программные средства.

По этой причине ПС будут интересовать, прежде всего, первые две стадии.

Стадии разработки и исследования моделей представлены на рис. 2.

Возможные этапы на стадии экспериментирования с моделью:

- планирование и осуществление модельного эксперимента;
- подбор вида и параметров аппроксимирующих зависимостей (прогрессивный анализ);
- проверка корректности принятых зависимостей (корреляционный анализ);
- сверка частных критериев эффективности в один с последующим решением полученной однокритериальной задачи классическими методами оптимизации.

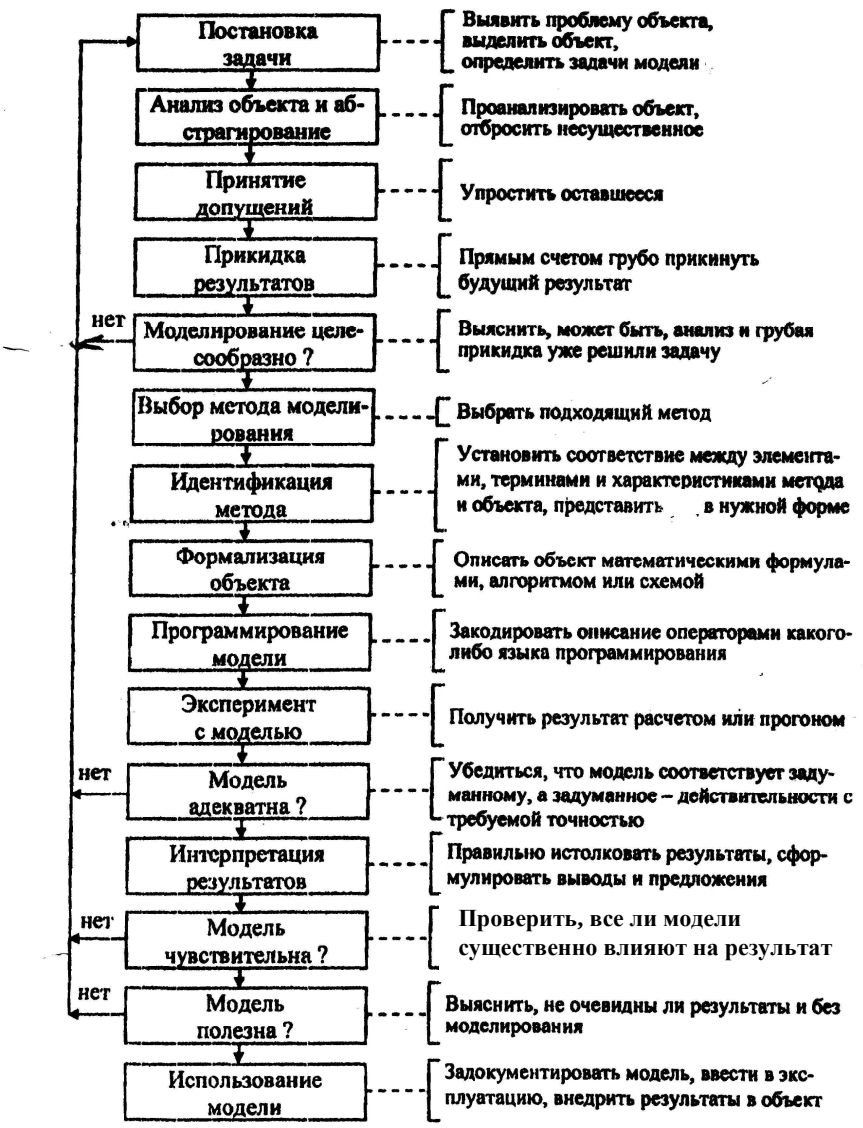


Рис. 2. Этапы моделирования

Структуру модели функционирования системы можно представить схемой рис. 1.3. и следующими выражением:

$$Y(t)=F(X, Z, A, E, U, t),$$

где Y – вектор выходных характеристик, например, выработка, производительность, загрузка и пр.;

X – вектор входных воздействий (контролируемых, но неуправляемых), например, поступление заказов;

Z – вектор собственных внутренних воздействий (контролируемых, управляемых, неуправляемых), например, возникновение отказов;

A – вектор внутренних параметров (контролируемых и выбираемых, но в рамках одного просчета или прогона уже неизменных), например, фиксированное количество станков, транспортных средств, спутников и пр.;

E – вектор возмущающих воздействий внешней среды (неуправляемых, часто и неконтролируемых), например, колебания качества заготовок, вызывающие доли брака;

U – вектор управляющих воздействий (контролируемых и управляемых), например, выбор по динамическим приоритетам при диспетчировании;

t – время;

F – иногда называется законом функционирования системы.

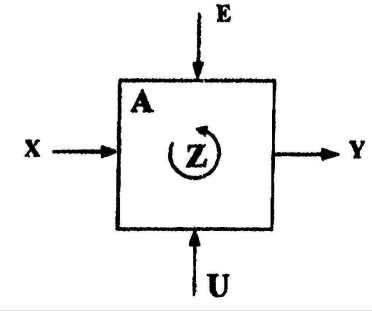


Рис. 3. Структура модели функционирования системы

Вообще модель должна строится под определенную задачу, а не воспроизводить ПС с учетом различных многообразных нюансов. Ошибкой является попытка моделировать ПС во всех подробностях, полагая, что от этого модель становится совершеннее, т.к. приближается к оригиналу.

Верный подход заключается, напротив, в создании модели максимально простой, но в тоже время достаточно адекватной для решения очередных практических задач. В модели ПС следует оставить только то, что существенно влияет на результат, а второстепенные детали отбросить.

При разработке модели ПС первостепенное значение имеет не выбор метода и математического аппарата, а тщательная проработка постановочной части.

Разработка модели ПС должна вестись поэтапно. Начинать нужно с простой модели и постепенно ее усложнять – добавлять факторы, элементы, состояния и переменные, переводить константы и параметры в переменные, заменять детерминированные величины случайными, снимать ограничения, отказываться от допущений и т.д.

Для объектов, относящихся к категории сложных систем, к каковым относятся и ПС, моделирование объективно необходимо, что обусловлено их сложностью, высокой стоимостью, уникальностью и недоступностью для натурального эксперимента. Основным методом моделирования сложных систем является математическое: аналитическое, имитационное и статистическое.

Самыми полезными моделями ПС являются модели функционирования, т.к. они дают конечную оценку соответствия ПС их назначению. Вместе с тем модели функционирования наиболее сложные, т.к., уже включают в себя модели свойств и структуры.

Несмотря на все разнообразие моделей, все они имеют одинаковый состав структурных элементов: входы, выходы, критериальное пространство, ограничения, параметры, возмущения и функциональные зависимости. Моделирования ПС является неформальным творческим процессом, а само искусство моделирования заключается в нахождении компромисса между требованиями максимального упрощения модели и обеспечения достаточной адекватности с реальными объектами машиностроительного производства.

ДИНАМИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТРЕХПОДВИЖНОГО ПАРАЛЛЕЛЬНОГО МИКРОМАНИПУЛЯТОРА

Акопян Н.Х. *(НПУА, Ереван, Армения)*
Tel.: +374 10 520-348; E-mail: nershakobyan@gmail.com

Abstract: *The dynamic modeling problem for parallel micromanipulator is considered in the article. The task of natural frequencies was solved with the help of the automated module ANSYS DesignXplorer. The optimum sizes of micromanipulators for obtaining a given deviation under the action of elastic joints are considered and found maximal dynamic displacement of platform.*

Keywords: *parallel micromanipulator, elastic joints, dynamic modeling, natural frequencies*

Введение. Микроманипуляторы параллельной структуры [1, 2] предназначены для точного позиционирования объекта и основаны на базе применения упругих шарниров, в качестве кинематических пар и пьезоэлектрических актуаторов, в качестве приводных элементов. Исследования кинематики, динамики и управления микроманипуляторов параллельной структуры представляют интерес как с точки зрения их оптимального проектирования, так и практического применения.

Постановка задачи. Рассматривается прецизионный трехподвижный параллельный микроманипулятор, общий вид и геометрические параметры которого показаны на рис.1.

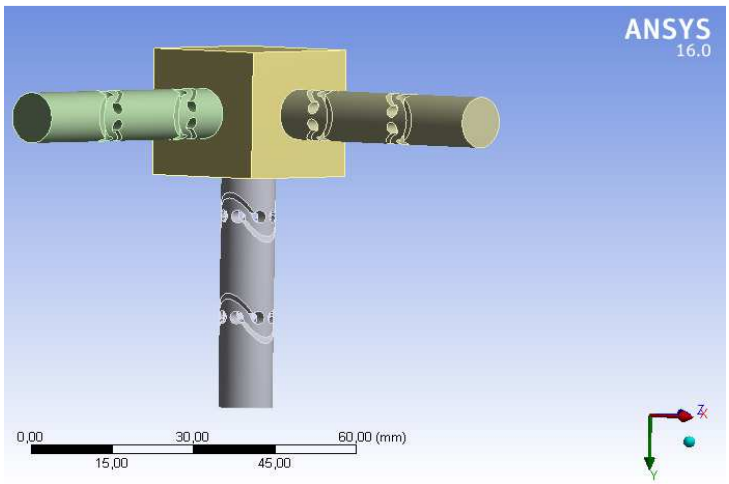


Рис.1. Конструктивная схема параллельного микроманипулятора

На звенья микроманипулятора действуют пьезоактуаторы в направлении осей звеньев периодической силой с амплитудой в 520 Н [3, 4]. Рассматриваются случаи, когда имеет место действие одного, двух или трех актуаторов. Цель исследования: определить собственые частоты колебаний микроманипулятора при оптимальных значениях расстояний между шарнирами для получения максимальных перемещений платформы. В качестве материала звеньев микроманипуляторов используются: сплав TI 6AL4V, либо сталь, а для выходного звена – сталь. Механические свойства материалов представлены в таблице 1.

Таблица 1. Механические свойства материалов звеньев

Материал	TI 6AL4V	Сталь	
Плотность	4419	7850	Кг*м^-3
Модуль Юнга	1.138E+11	2E+11	Па
Коэффициент Пуассона	0.342	0.3	
Объемный модуль	1.20042E+11	1.667 E+11	Па
Модуль сдвига	42399403875	76923076923	Па
Предел текучести	880000000	250000000	Па

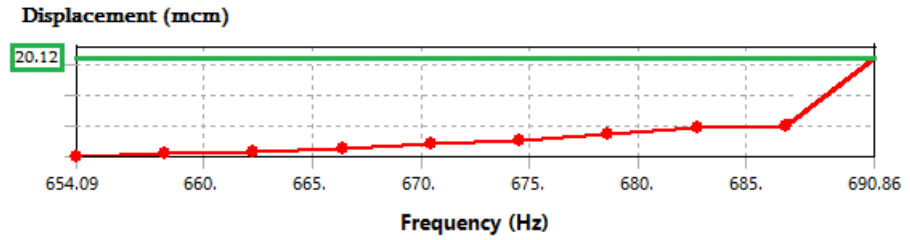
Моделирование позволило спроектировать упругие шарниры, обеспечив их работоспособность и условие существования, определить диапазоны их углов поворота и жесткость, кинематические и жёсткостные характеристики шарниров и микроманипулятора, определить первые собственные частоты микроманипулятора при использованных материалах и оптимальной геометрии звеньев, а также максимальные перемещения платформы на этих частотах.

Результаты динамического моделирования. При полых стальных звеньях максимальный угол поворота упругих шарниров равен 2,3 градуса, а максимальные величины перемещений платформы (табл. 2) при статическом действии актуаторов составляют:

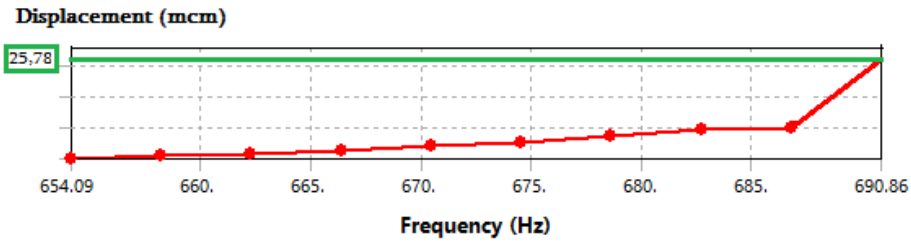
Таблица 2. Steel

Расстояние между шарнирами, мм	Максимальные перемещения платформы при активации пьезостолбиков, мкм		
	одного	двух	трех
32	12,1/0,71	15,6/0,64	18,1

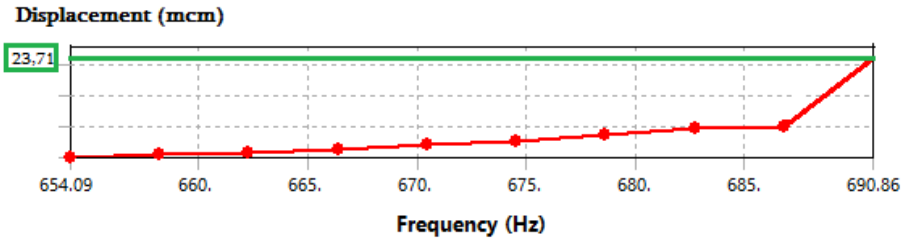
Результаты динамического моделирования стального микроманипулятора представлены в виде зависимостей перемещений его платформы от частоты вибраций пьезоактуаторов (рис.2), максимальные значения которых на первой собственной частоте составили: 20,12 мкм, 25,78 мкм и 23,71 мкм, при активации 1-го (рис.2 а), 2-х (рис.2 б), и 3-х (рис.2 г) пьезостолбиков, соответственно.



а)



б)



г)

Рис.2. Зависимости перемещений платформы от частоты вибраций пьезоактуаторов параллельного стального микроманипулятора при активации: а - одного, б - двух и в - трех пьезостолбиков

При полых звеньях из титанового сплава TI 6AL4V максимальный угол поворота упругих шарниров равен 2,5 градуса, а максимальные величины перемещений платформы (табл. 3) при статическом действии актуаторов составляют:

Результаты динамического моделирования микроманипулятора из титанового сплава TI 6AL4V представлены в виде зависимостей перемещений его платформы от частоты вибраций пьезоактуаторов (рис. 3), максимальные значения которых на первой собственной частоте составили: 24,7 мкм, 26,92 мкм и 29,1 мкм, при активации 1-го (рис. 3 а), 2-х (рис. 3 б), и 3-х (рис. 3 в), пьезостолбиков, соответственно.

Таблица 3. TI 6AL4V

Расстояние между шарнирами, мм	Максимальные перемещения платформы при активации пьезостолбиков, мкм		
	одного	двух	трех
32	17,2/0,95	19,5/0,83	22, 1

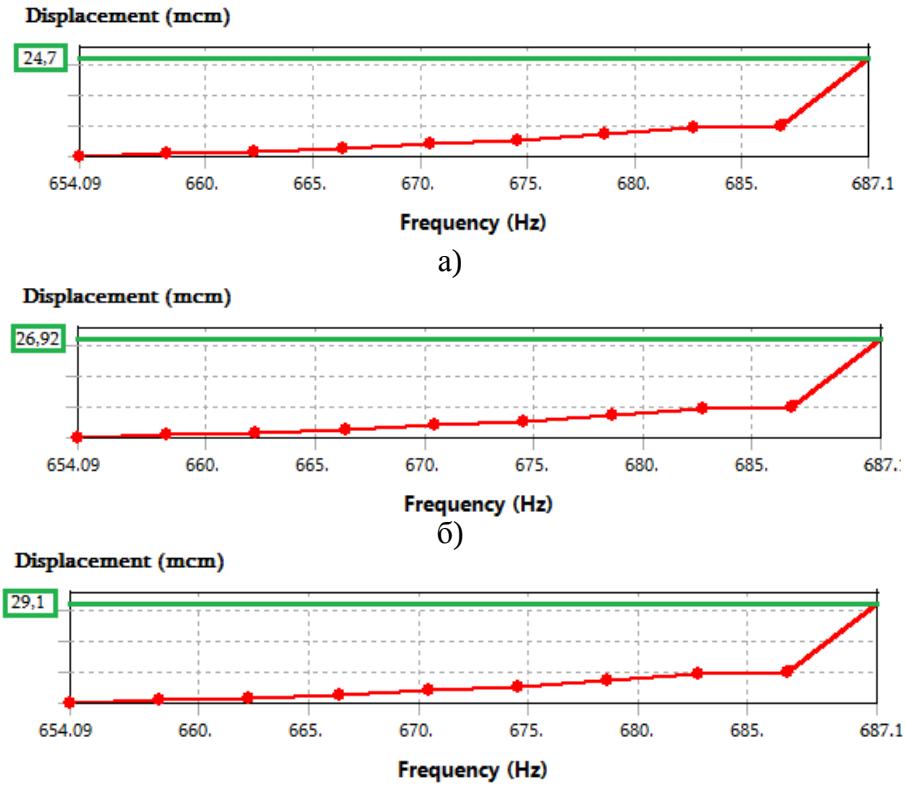


Рис.3. Зависимости перемещений платформы от частоты вибраций пьезоактуаторов параллельного микроманипулятора из TI 6AL4V при активации: а - одного, б - двух и в - трех пьезостолбиков

Заключение. Выполнено динамическое моделирование трехзвенного прецизионного параллельного микроманипулятора и получены первые его собственные частоты колебаний и динамические перемещения платформы, которые при тех же значениях допустимых углов поворота в упругих шарнирах и при действии всех трех пьезоактуаторов на 31% превышают их статические величины.

Список литературы: 1. Кочикян А. В., Арутюнян М. Г., Парикян Т.Ф., Акопян А.Л. и Рагульскис К.М. // Механизм координатных перемещений. Авторское свидетельство СССР № 1814353 A1, кл. F 16 H 21/46, 1987. 2. A.C. PA N 2757 A. Параллельный микроманипулятор // М. Арутюмян, М. Мкртчян, С. Саргсян, Н. Закарян. Ереван, 25.07.2013. 3. Мкртчян М.Г., Верлинский С.В., Арутюнян М.Г., Аракелян В.А. Исследование кинематических и жесткостных характеристик параллельного микроманипулятора с упругими шарнирами // Сб. трудов XX Межд. научно-техн. конф. “Машиностр. и техносфера XXI века”. – Донецк-Севастополь, 2013. – Том 2. С.185-188. 4. Акопян Н.Х. Моделирование прецизионных модулей микроманипуляторов с упругими шарнирами// Сб. трудов XXIV Межд. научно-техн. конф. “Машиностр. и техносфера XXI века”. – Донецк-Севастополь, 2016. – С.12-15.

ТЕХНОЛОГИЯ И ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ТОПЛИВОПРОВОДНЫХ ТРУБ ДЛЯ ДИЗЕЛЬНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

Антимонов А.М., Пушкарева Н.Б.
(ФГАОУ ВО Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина (УрФУ), Екатеринбург, Россия)
Тел. +7(902)8753104; +7(922)2110427; E-mail: *u11446@mail.ru; nbpush@mail.ru*

Abstract: *The technology and equipment for diesel engines steel fuel pipes cold rolling and coil drawing production on a self-aligning mandrel are considered. We presented current production line scheme for the pipes production, which includes pipe-rolling drum mills, radial forging machines, thermal furnaces with a protective atmosphere, finishing lines for unwinding coils and straightening pipes, a system of conveyors and stores for transferring coils from one unit to another. A list of articles and patents containing basic information on this topic is attached.*
Keywords: *toxicity, emission gases optical density, fuel pipes, coil drawing, production line.*

Стальные толстостенный трубы малого диаметра используются в топливной аппаратуре дизельных двигателей. От точности внутреннего диаметра таких труб существенно зависит равномерность подачи топлива в цилиндры двигателя. Из-за рассогласования процессов впрыска топлива повышается его расход, падает мощность двигателя, растет износ деталей цилиндропоршневой группы, увеличивается токсичность отработавших газов. Особенно важным является требование к экологической чистоте работы двигателя, удовлетворить которые нельзя без соответствующей точности топливопроводных труб. Уменьшение поля допуска на внутренний диаметр с ±0,15 до ±0,05 мм дает возможность снизить удельный расход топлива и обеспечивает оптическую плотность отработавших газов, определяющую их токсичность, в соответствии с действующим стандартом.

По существовавшей ранее технологии топливопроводные трубы изготавливали способами холодной прокатки и безоправочного волочения на станах линейного типа. Однако она не обеспечивала необходимого качества продукции и имела низкие технико-экономические показатели.

Разработана и внедрена новая технология, основу которой составляет бухтовое волочение труб на самоустанавливающейся оправке. Новая технология реализована по следующей схеме. Горячекатаную заготовку после расточки, ремонта и осмотра внутренней поверхности подвергают холодной прокатке за три прохода на размер для последующего волочения. Последний проход ведут на стане холодной прокатки труб с удлиненной загрузочной частью, что позволяет использовать заготовку длиной 8 м и получать трубы длиной до 20 м. Имеется опыт прокатки труб с коэффициентом вытяжки более 5, что позволяет увеличить их длину до 40 м. После прокатки трубы сворачивают в бухту в состоянии наклепа, а затем отжигают.

Бухтовое волочение труб ведут на жидкой смазке. Смазку на наружную поверхность наносят циркуляционным способом. Для устойчивого ведения процесса разработали проходы волочения с особыми деформационными режимами, усовершенствовали геометрию и конструкцию инструмента. В каждом проходе трубы подвергают термической обработке в защитной атмосфере. Готовые трубы разматывают, правят и режут на мерные длины в нагартованном состоянии, а затем отжигают.

Последний этап обработки труб заключается в подрезке торцов и окончательной правке на косовалковом стане. Точность внутреннего диаметра контролируют с

помощью калибра. Первоначально выпуск труб был организован на специализированном участке малой мощности, которая составляла 1,5 млн. метров готовых труб в год. На нем установлено два комплекта оборудования, в каждый из которых входят трубоволочильный стан, машина для острения концов труб, станок для резки концов труб и линия размотки, правки и резки готовых труб. Имеется также система транспортных устройств и накопителей.

Трубоволочильный стан усилием 100 кН с горизонтальным барабаном оснащен механизированным захватом конца трубы, а также устройством для раскладки витков трубы по барабану. Острение концов проводят на радиально-ковочной машине. Заготовку для бухтового волочения прокатывают на стане холодной прокатки труб. Рядом со станом смонтирована бухтосверточная машина.

Увеличение потребности в топливопроводных трубах вызвало необходимость расширения их производства. В этих условиях мощность специализированного участка оказалась недостаточной. В этой связи организовали поточное производство по выпуску топливопроводных труб. В состав оборудования поточной линии входят два трубоволочильных стана, две линии отделки труб, две проходные печи с защитной атмосферой для термической обработки труб в бунтах, а также система транспортно-накопительных устройств.

Заготовки для бухтового волочения прокатывают вне линии. Схема поточной линии показана на рис. 1. Работа линии начинается с загрузки рольганга 3 бухтами-заготовками, которые транспортируются мостовым краном от стана холодной прокатки. После термической обработки бухты поштучно передаются транспортером разгрузки печей 4 к накопителям, в которые они загружаются транспортером 6. Охлажденные бухты тем же транспортером подаются последовательно к станку 12, ковочной машине 13 и барабанному стану 7. После волочения они по транспортерам разгрузки станов 8 выдаются на транспортер загрузки печей 2. Бухты труб готового размера удаляются с транспортеров 2 и 8 кантователями 14 и накапливаются в бухтоприемниках 15. Далее производится навеска их пакетами мостовым краном на консоли 9. Затем их поштучно сбрасывают на моталки линий отделки 10, где ведется размотка, правка и резка готовых труб. Работой поточной линии управляют операторы с постов 11.

Согласованность действий на рабочих местах и постах достигается с помощью громкоговорящей связи.

Технологическое оборудование поточной линии конструктивно отличается от действующего на участке топливопроводных труб и имеет более высокие технические параметры, что обеспечивает увеличение производительности, а также улучшает условия труда. Основным агрегатом линии является трубоволочильный стан. Конструктивная особенность этого стана состоит в наклонном расположении оси барабана, который выполнен с небольшой конусностью. Это позволяет удалять бухты с барабана под действием силы тяжести и иметь относительно малую высоту стана, что позволяет осуществлять над ним транспортные операции мостовым краном.

Для заковки концов труб используют радиально-ковочную машину с механизированными поворотом и подачей конца бухты. Перед волочением закованные концы удаляют с помощью абразивного диска. Линия отделки труб предназначена для размотки, правки и резки готовых труб диаметром 5-10 мм. Трубы правят в роликовой клети в двух взаимно перпендикулярных плоскостях. Резку проводят абразивным диском после остановки. Предусмотрена также рубка труб на ходу.

Термическую обработку труб проводят в проходных печах с защитной атмосферой. Печь имеет входной и выходной рольганги. Термическая обработка

бунтов выполняется в горизонтальном положении. Скорость перемещения труб в печи регулируется в зависимости от толщины стенки и требуемых механических свойств металла.

Система транспортно-накопительных устройств поточной линии предназначена для передачи бухт с одного агрегата на другой. Накопители выполняют буферные функции, что демпфирует транспортный поток во времени. Это связано с разной производительностью станов и печей, а также с необходимостью охлаждения бухт перед волочением.

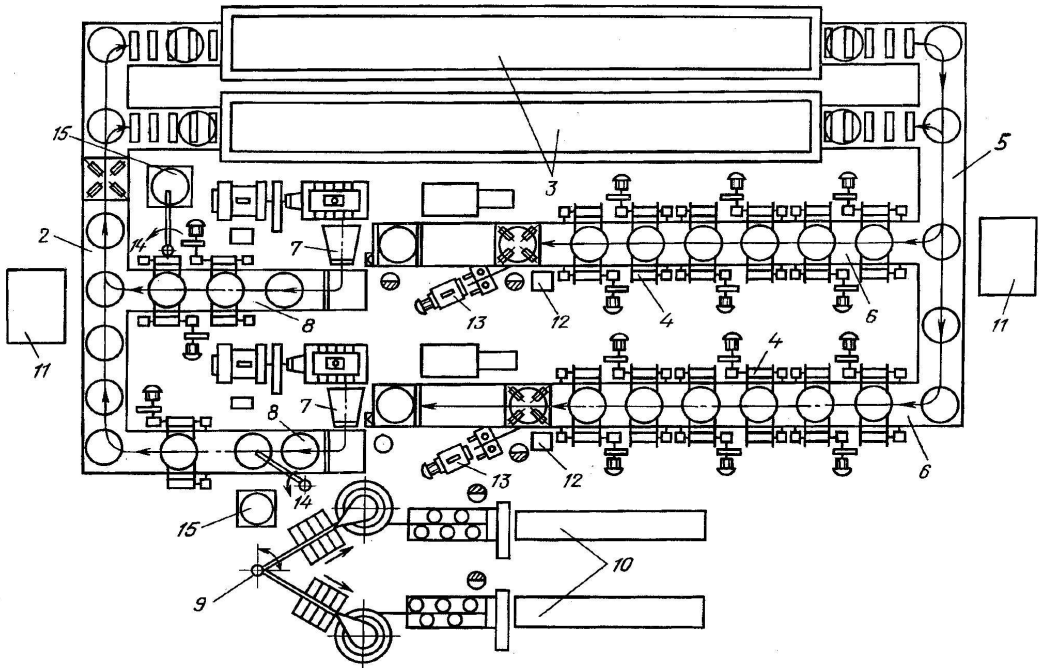


Рис. 1.Схема поточной линии

Транспортная сеть поточной линии образована системой транспортеров разной конструкции. Так, транспортеры 2 и 4 для обслуживания печей являются цепными с поштучной транспортировкой бухт. Транспортеры 6 и 8 для обслуживания станов работают в шаговом режиме от пневмоцилиндра и обеспечивают перемещение одновременно партий бухт, размещенных на напольной части транспортера. Накопители полочного типа собирают бухты по семь штук в каждом над транспортером. Дополнительные сведения о технологии бухтового волочения труб, оборудованию и инструменту содержатся в работах [1-20].

Таким образом, ввод линии в эксплуатацию увеличил выпуск топливопроводных труб до 3 млн м в год при проектной мощности 5 млн. м. Организация поточного производства бухтовым волочением высококачественных топливопроводных труб решило задачу по замещению импорта зарубежной продукции товарами отечественного производителя.

Список литературы: 1. Антимонов А.М. Производство топливопроводных труб для дизельных двигателей /А.М. Антимонов, А.А. Берсенев // Сталь. – 2009. – №3. – С. 54-55. **2.** Антимонов А.М. Опыт применения самоустанавливающейся оправки при изготовлении стальных топливопроводных труб / А.М. Антимонов, В.И. Соколовский // Сталь. – 1982. – №7. – С. 56-59. **3.** Толстиков Р.М. Бухтовое

волочение стальных топливопроводных труб на самоустанавливающейся оправке / Р.М. Толстиков, А.М. Антимонов, Г.В. Араптанов // Сталь. – 1985. – №1. – С. 56-59. **4.** Антимонов А.М. Оборудование и технология бухтового волочения стальных топливопроводных труб на самоустанавливающейся оправке /А.М. Антимонов, Р.М. Толстиков // Металлург. – 1984. – №12. – С. 32-34. **5.** Паршин В.С. Расчет инструмента для волочения толстостенных труб на самоустанавливающейся оправке /В.С. Паршин, А.М. Антимонов, В.И. Бояркин // Цветные металлы. – 1977. – №4. – С.45-48. **6.** Антимонов А.М. Проектирование переходов при волочении толстостенных труб на самоустанавливающейся оправке/ А.М. Антимонов // Известия вузов. Черная металлургия. – 1978. – № 2. – С. 25-28. **7.** Соколовский В.И. Продолжительность резки труб при знакопеременном нагружении / В.И. Соколовский, С.Н. Полянский, А.М. Антимонов // Известия вузов. Черная металлургия. –1988. – №10. – С. 34-36. **8.** Антимонов А.М. К оценке статического равновесия самоустанавливающейся оправки при волочении труб / А.М. Антимонов, В.И. Соколовский, В.М. Душкин // Известия вузов. Черная металлургия. – 1987. – №8. – С.14-18. **9.** Антимонов А.М. Расчет изменения толщины стенки при безоправочном волочении / А.М. Антимонов, Е.Т. Малых, А.Б. Мамаев // Черная металлургия. – 1989. – №9. – С.26-29. **10.** Антимонов А.М. Малоотходная технология производства труб высокого давления / А.М. Антимонов, Р.М. Толстиков, А.В. Ухов, Г.В. Араптанов, А.Б Мамаев // Машиностроитель. – 1987. – №9. – С. 19-21. **11.** Антимонов А.М. Оценка влияния колебаний самоустанавливающейся оправки на стабильность волочения труб/ А.М. Антимонов, В.В. Собачкин, В.М. Душкин // Известия вузов. Черная металлургия. – 1986. – №2. – С. 25-28. **12.** Антимонов А.М., Соколовский В.И. Способ изготовления топливопроводных труб // А.с. СССР № 1210937. 1986. Бюл. № 6. **13.** Антимонов А.М., Соколовский В.И. Самоустанавливающаяся оправка для волочения труб // А.с. СССР № 988397. 1983. Бюл. № 2. **14.** Антимонов А.М., Соколовский В.И., Араптанов Г.В. и др. Способ бухтового волочения толстостенных топливопроводных труб с внутренним диаметром не более 3 мм //А.с. СССР № 1183223. 1985. Бюл. № 37. **15.** Антимонов А.М., Ухов А.В., Тимофеев В.А., Полянский С.Н. Трубоволочильный барабан // А.с. СССР № 1232314. 1986. Бюл. № 19. **16.** Ухов А.В., Антимонов А.М., Араптанов Г.В. Поточная линия для бухтового волочения труб // А.с. СССР № 1445027. 1988. Бюл. № 46. **17.** Антимонов А.М., Ухов А.В., Тимофеев В.А., Рушенбах И.М., Толстиков Р.М., Араптанов Г.В. Стан бухтового волочения труб // А.с. СССР № 1210936. 1986. Бюл. № 6. **18.** Антимонов А.М., Ухов А.В., Тимофеев В.А. Толстиков Р.М., Алешин В.А. Трубоволочильный барабан // А.с. СССР № 1144740. 1985. Бюл. № 10. **19.** Антимонов А.М., Мамаев А.Б. Способ определения профиля обжимной части самоустанавливающейся оправки для волочения труб // А.с. СССР № 1491599. 1989. Бюл. № 25. **20.** Антимонов А.М., Толстиков Р.М., Алешин В.А., Араптанов Г.В., Моисеев Г.П., Мамаев А.Б. Устройство для бухтового волочения труб на самоустанавливающейся оправке // А. с. СССР № 1042833. 1983. Бюл. №35.

ОЦЕНКА ПАРАМЕТРОВ ОБОБЩЕННОЙ СТОХАСТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ОТКАЗОВ РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА С ПОМОЩЬЮ НЕПРЕРЫВНОГО КОСВЕННОГО КОНТРОЛЯ ПРОЦЕССА РЕЗАНИЯ

Анцев А.В., Данг Х.Ч., Янов Е.С. *(ТулГУ, АО «НПО «СПЛАВ», г. Тула, Россия)*
Тел./Факс: +7 (4872) 254648; E-mail: a.antsev@yandex.ru

Abstract: *The accuracy of predicting the cutting tool life affects the efficiency of modern machine building. The unexpected failure of the tool leads to large production costs. To take into account the randomness factor of tool wear, the generalized probabilistic (stochastic) model of the wear process and failures of the cutting tool are used. Estimation of the parameters of the stochastic model for their practical application requires the collection of statistics on tool wear during the cutting process. One of these characteristics is the vibration of the "machine-tool-fixture-workpiece" (MFTW) system. The vibration of the MFTW system varies in a wide range and carries generalized information about the cutting process, so it is necessary to extract from the vibration signals the information that reflects the wear process of the cutting part of the tool.*
Key words: *vibration, tool wear, diagnostics, prediction, probabilistic (stochastic) model.*

В современном мире постоянно увеличивается значение машиностроения. На машиностроение по стоимости приходится до 40 % производства всей продукции обрабатывающей отрасли мира [1]. В России удельный вес продукции машиностроения в общем объеме промышленности достигает 20 % [2]. При этом одним из важнейших технологических процессов при производстве продукции машиностроения является обработка резанием. По экспертным оценкам, 15 % стоимости деталей узлов и машин, производимых в мире, приходится на операцию обработки резанием [3]. Не смотря на постоянное появление новых технологий обработки в машиностроении, традиционная обработка металлов резанием является, и в ближайшие десятилетия будет оставаться, основным способом изготовления деталей узлов и машин.

Однако, несмотря на научные исследования, большой опыт промышленности в этой области и экономическую важность операции резания, процесс обработки резанием нуждается в углубленном изучении, что подтверждается низкой предсказательной способностью известных моделей резания и их эффективностью лишь в относительно узких и неизменных условиях эксплуатации [4]. Данное обстоятельство приводит, в том числе, к следующим проблемам при обработке резанием на машиностроительных предприятиях [4, 5]:

1) рациональные режимы обработки используются только для 48 % операций. В среднем режимы резания занижаются технологами на 40 %;

2) только 57 % инструментов используются до достижения суммарного расчетного периода стойкости.

В современном машиностроении традиционно при решении задачи оценки периода стойкости режущего инструмента и назначении режимов резания используют стойкостные зависимости, описывающие лишь зависимость среднего периода стойкости режущего инструмента от режимов резания и не учитывающие стохастическую природу износа режущего инструмента, что не позволяет учесть фактор случайности при оптимизации режимов резания и режима профилактики режущего инструмента.

Зависимость среднего значения периода стойкости $\overline{T}$ от параметров режима резания принято называть стойкостной зависимостью. В математической статистике зависимость такого типа называют уравнением регрессии. Вид этой зависимости определяется в процессе стойкостных испытаний. В литературе встречаются различные

математические модели этой зависимости, причем каждая из них имеет свои преимущества и недостатки. Наибольшее распространение получила тейлоровская (степенная) зависимость, которая легла в основу действующих нормативов по расчету режимов резания.

Однако износ инструмента $Y(t)$ после наработки t является случайной величиной и как функция от t является случайным процессом. Для учета случайности при оценке периода стойкости предлагается обобщенная стохастическая модель отказов режущего инструмента [6, 7] со следующей функцией надежности:

$$P(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\delta}\int_0^{\infty}\frac{1}{a}\exp[-\frac{(\ln a - \ln \hat{a})^2}{2\delta^2}]\cdot\Phi^*(\frac{L-at}{\sigma\sqrt{t}})da\cdot\exp[-(\frac{t}{r})^{\beta}],$$

имеющей 5 параметров: $\hat{a}, \sigma, \delta, r, \beta$:

$\hat{a}$ – среднегеометрическая интенсивность износа по всем инструментам;

σ – среднеквадратическое отклонение износа режущего инструмента за единицу наработки;

δ – среднеквадратическое отклонение логарифма интенсивности износа по режущим инструментам;

r, β – параметры распределения, связанного с разрушением режущего инструмента.

Первый и второй параметры учитывают разброс параметров заготовки, первый и третий параметры учитывают разброс параметров режущего инструмента, а четвертый и пятый параметры – разрушение режущего лезвия.

Сбор статистики для оценки параметров $\hat{a}$, σ, δ, r и β в процессе обработки не простая задача, так как прямая оценка линейных размеров износа режущего инструмента затруднена, поэтому используют другие характеристики процесса резания, которые могут быть использованы для косвенного контроля износа и разрушения режущего инструмента. Одной из таких характеристик является вибрация системы «станок – приспособление – инструмент – заготовка» (СПИЗ).

Источником вибрации из зоны резания являются процессы трения и деформирования. Вибрация представляет собой упругую энергию, мгновенно высвобождающуюся в материале при разрушении. Эти процессы генерируют упругие волны, распространяющиеся по инструменту, обрабатываемой детали и деталям станка. Изменение в характере протекания процессов резания вызывают изменение параметров сигналов вибрации. Причиной этого может быть нарушение образования и схода стружки, а также увеличение контактных площадок на рабочих поверхностях инструмента в связи с его изнашиванием. Высокочастотные колебания вибрации позволяют регистрировать в инструментальном материале процесс трещинообразования, который является предвестником разрушения режущей части инструмента.

При этом надо учитывать что процесс износа режущего инструмента имеет три стадии, влияющие на уровень вибрации (рис. 1).

Стадия (I) показывает процесс приработки нового инструмента. В этот момент происходит интенсивный износ лезвия режущего инструмента до определенного уровня. Достигнув данный уровень износа в момент времени t_1, износ режущего инструмента переходит в стадию (II) – стадию установившегося процесса износа. В конце срока своей службы в момент времени t_2 износ режущего инструмента переходит в стадию (III) – стадию катастрофического износа.

Вибрация режущего инструмента меняется при прохождении данных стадий следующим образом (рис. 2).

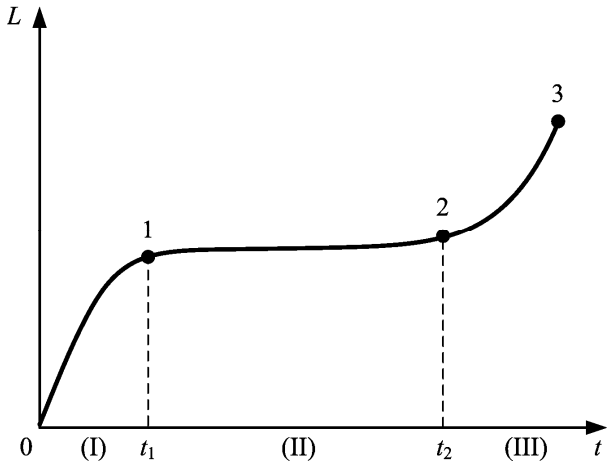


Рис. 1. Процесс износа режущего инструмента

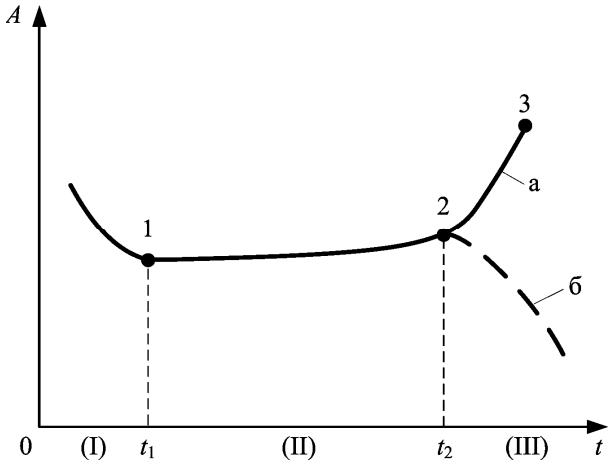


Рис. 2. Изменение уровня вибрации по мере износа режущего инструмента

Во время приработки режущего инструмента первоначальный уровень вибрации снижается до минимального значения в точке t_1. По мере стабильного износа уровень вибрации увеличивается с небольшой скоростью. При переходе в стадию катастрофического износа уровень вибрации начинает резко возрастать (ветвь а, рис. 2). Так же возможен вариант с разрушением режущей кромки что приведет к резкому снижению уровня вибрации (ветвь б, рис. 2).

Изучение процессов вибрации, протекающих в процессе резания, требует создания специальных устройств, которые должны быть расположены как можно ближе к зоне резания, так как при прохождении стыков упругой системы станка происходит существенное ослабление сигнала [8].

При оценке износа режущего инструмента по уровню вибрации системы СПИЗ с помощью предложенной системы контроля вибрации необходимо учитывать, что вибрация системы СПИЗ изменяется в широком диапазоне и несет обобщенную информацию о процессе резания, поэтому необходимо извлечь из сигналов вибрации ту информацию, которая отображает процессы износа режущей части инструмента.

Для извлечения необходимой информации предлагается следующий подход. Сначала на станке с ЧПУ выполняется управляющая программа для обработки изделия без установленной заготовки. При этом полученные сигналы вибрации характеризуют текущее состояние оборудования и могут использоваться для формирования его вибропаспорта. После установки заготовки проводится ее обработка. Из полученных

сигналов вибрации вычитаются сигналы вибропаспорта станка, таким образом, остается информация о вибрации, обусловленной именно процессом резания, характеризующий процесс резания конкретной пары «инструмент – деталь». Данная информация позволяет получить эталонный сигнал процесса резания новым инструментом. По мере обработки последующих деталей сигнал вибрации, характеризующий процесс резания будет меняться. Разница между текущим сигналом, характеризующим процесс резания, и эталонным позволит оценить уровень износа режущего инструмента и, соответственно, параметры обобщенной стохастической модели отказов режущего инструмента.

Обобщенная стохастическая модель отказов режущего инструмента с оцененными таким образом параметрами в конкретных производственных условиях может быть использована для управления надежностью режущего инструмента путем назначения периодичности восстановления режущего инструмента и режима резания. При этом под управлением надежностью режущего инструмента понимается изменение показателей надежности режущего инструмента при неизменной средней наработки между отказами или ее увеличении путем, что позволит:

- снизить основное технологического времени, требуемое на выполнение операций на металлообрабатывающем оборудовании;
- снизить уровень брака, связанный с отказом режущего инструмента во время обработки;
- снизить вспомогательное время, требуемое на обслуживание и замену режущего инструмента;
- снизить затраты на инструментальное обеспечение за счет его более рационального использования.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-38-00849.

Список литературы: 1. Сиваченко Л.А., Сиваченко Т.Л. Технологическое машиностроение – инновационный резерв мировой экономики. Могилев: Белорус.-Рос. ун-т, 2017. 254 с. **2.** Бушуев В.В., Сабиров Ф.С. Направления развития мирового станкостроения // Вестник МГТУ Станкин. 2010. №. 1. С. 24-30. **3.** Astakhov V.P. Tribology of Metal Cutting. London: Elsevier, 2006. 392 p. **4.** Астахов В.П. Принцип наименьшей энергии пластической деформации при разрушении как основа понимания и оптимизации обработки металлов резанием // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2016. №. 8-1. С. 141-153. **5.** Мартинов Г.М., Григорьев А.С. Диагностирование режущих инструментов и прогнозирование их остаточной стойкости на станках с ЧПУ в процессе обработки // СТИН. 2012. №12. С. 23-27. **6.** Пасько Н.И., Анцев А.В., Анцева Н.В., Сальников С.В. Обобщенная стохастическая модель отказов режущего инструмента и ее применение. Тула: Изд-во ТулГУ, 2016. 174 с. **7.** Pasko N.I., Antsev A.V., Antseva N.V., Fyodorov V.P.. The generalized mathematical model of the failure of the cutting tool // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 177 (2017) 012052. DOI:10.1088/1757-899X/177/1/012052. **8.** Анцев А.В., Данг Х.Ч., Жаднов А.В. Автоматизированная система контроля износа режущего инструмента по уровню вибрации // Вестник ТулГУ. Автоматизация: проблемы, идеи, решения: Сб. научных трудов междунар. заочной научно-техн. конф. «АПИР-22», 9-10 ноября 2017 года; под ред. В.В. Прейса, Д.А. Провоторова. Тула: Изд-во ТулГУ, 2017. С. 182-186.

ВОССТАНОВЛЕНИЕ ПОВЕРХНОСТИ ИЗДЕЛИЙ МАШИНОСТРОЕНИЯ ГАЗОДИНАМИЧЕСКИМ НАПЫЛЕНИЕМ

Архипов В.Е., Лондарский А.Ф., Москвитин Г.В., Пугачев М.С., Дмитриев В.Г., Бугаев Н.М.
(*ИМАШ РАН, МАИ (НИУ), Москва, Россия)*
E-mail: GVMoskvitin@yandex.ru, vgd2105@mail.ru

Abstract: *The results comparative tests of copper coating applied to the surface iron-carbon alloys by gas-dynamic sputtering are presented. It is shown that the copper coating has a high performance during tests in the conditions of liquid and grease lubricants. In the conditions of boundary friction copper coatings show a very low wear rate, compared with bronze and brass. With dry friction, the copper coating has a lower wear rate compared to brass with a sufficiently significant friction path. The sensitivity degree of surface fracture during friction from the process parameter (deposition temperature) and external test conditions (nature and properties of lubricant) is shown, which indicates the need for technological developments taking into account the performance characteristics of engineering products.*
Key words: *copper coating, surface, friction, process parameters, conditions.*

В настоящее время продукция российских производителей деталей для машиностроения проигрывает в конкурентной борьбе свой внутренний рынок, не говоря уже о рынках ближнего и дальнего зарубежья. Причинами низкой конкурентоспособности упомянутого отечественного оборудования являются: низкое качество обработки поверхности металла, низкая энергоэффективность продукции, низкая надёжность, что приводит к высоким затратам и низкой рентабельности производства [1].

Конкурентоспособность российских производителей изделий машиностроения можно повысить, применяя инновационные покрытия, снижающие трение и защищающие металл от коррозии, задира и абразивного износа.

Существенное повышение износостойкости металлов и сплавов достигается методами формирования на изделиях покрытий разного состава и морфологии. Особое место среди распространённых методов нанесения покрытий на изделия из железоуглеродистых сплавов занимает метод газодинамического напыления.

Метод обладает рядом уникальных свойств и характеристик: компактное и надёжное оборудование позволяет наносить качественное покрытие в производственных и полевых условиях, нагрев материала основы после напыления покрытия не превышает 120-140°С, покрытия, нанесённые газодинамическим напылением, обладают высокими механическими характеристиками, так прочность сцепления (адгезия) покрытия меди со сталью твёрдостью до 45 HRC достигает 50 МПа, а когезионная прочность металла покрытия находится в пределах 80-150 МПа в зависимости от технологических параметров напыления [2]. Коэффициент трения покрытия меди в сопряжении с контртелом (шариком) из стати ШХ15 при испытании в масляной ванне находится в пределах 0,07-0,08 в диапазоне удельных напряжений 35-60 МПа. Ускоренные испытания низкоуглеродистой стали ст. 20 в среде слабого электролита (3% NaCl) с нанесёнными покрытиями цинка, алюминия, никеля показывают повышение сопротивления коррозии до 45 раз [3]. Покрытия, обладая высокой твёрдостью (до 250 HV 0,025/10), способны сопротивляться разрушению под воздействием твёрдых частиц и взвесей, находящихся в воздушной или жидкой среде. С учётом возможности нанесения покрытия на локальные и труднодоступные места поверхности изделия при минимальном разогреве подложки (≤140°), метод может стать

незаменимым при формировании или восстановлении поверхностей трения скольжения узлов и деталей.

Целью представленной работы является исследование возможности применения и влияние газодинамического напыления покрытия меди и используемых смазочных материалов на интенсивность изнашивания поверхностей сопряжённой пары трения скольжения при различных условиях трения.

Испытание в условиях жидкой и консистентной смазки

Испытание проводилось по схеме возвратно-поступательного движения образца с покрытием по контртелу из стали ШХ15 твёрдостью 58-60 HRC при средней скорости перемещения 0,45 м/с и ступенчатом нагружении от 1 до 10 кг за 14 ступеней.

Данные испытаний по суммарному износу покрытий меди, нанесённых при разной температуре напыления, показали, что при работе пары трения в индустриальном масле И-20А покрытие, нанесённое при 450°С, обладает более высокой износостойкостью в диапазоне удельных напряжений до 10 МПа (рис.1). При использовании в паре трения густой и пластичной смазки Литол-24 более эффективно сопротивляется износу покрытие, нанесённое при 270°С.

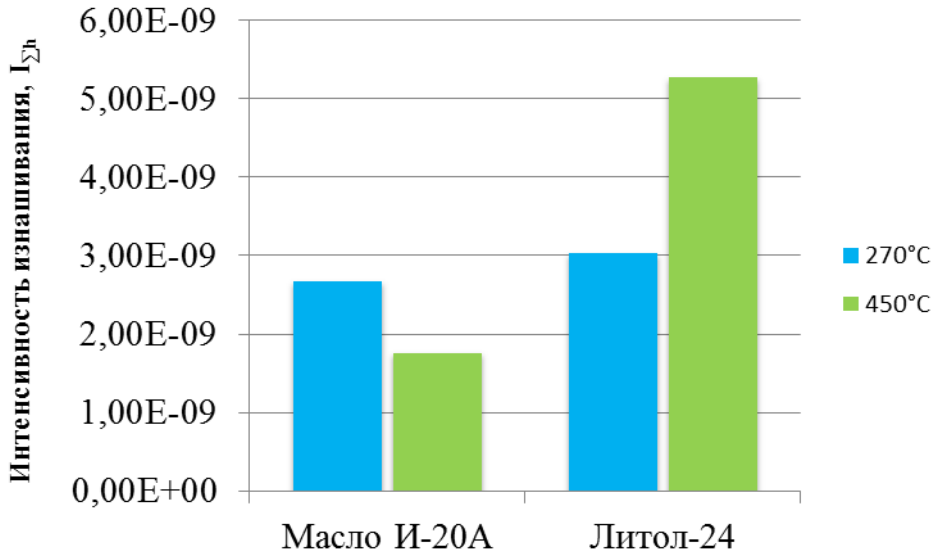


Рис. 1. Суммарные интенсивности изнашивания медных покрытий, нанесённых при различных температурах

Анализ результатов суммарного износа образцов с покрытием и контртел показал, что при использовании в качестве смазки индустриального масла И-20А следует наносить покрытие при температуре 450°С. Для повышения работоспособности узла трения при использовании пластичной смазки Литол-24 целесообразно напылять покрытие меди при температуре потока воздуха 270°С.

Результаты измерения микрорельефа поверхностей после испытания образцов с покрытиями, нанесёнными при 270°С и 450°С, и контртел подтверждают то, что покрытие меди после напыления при низкой температуре целесообразно использовать в условиях жидкой смазки. А для повышения долговечности работы пары трения, где используется покрытие меди, нанесённое при высокой температуре, следует применять консистентную смазку.

Испытание в условиях ограниченной смазки

Сравнительные испытания проводились на образцах с покрытием меди и изготовленными из Бронзы ОЦС555 и Латуни Л63 в паре со сталью 40Х твёрдостью

42-45 HRC по схеме вал – втулка при скорости скольжения 1м/с и удельном напряжении 0,45 МПа [4]. В качестве рабочей среды использовалась вода.

Скорость изнашивания покрытия меди, нанесённого при температуре 270°С и 450°С, не имеет существенного различия и составляет 0,008 мм^3/мин (рис.2).

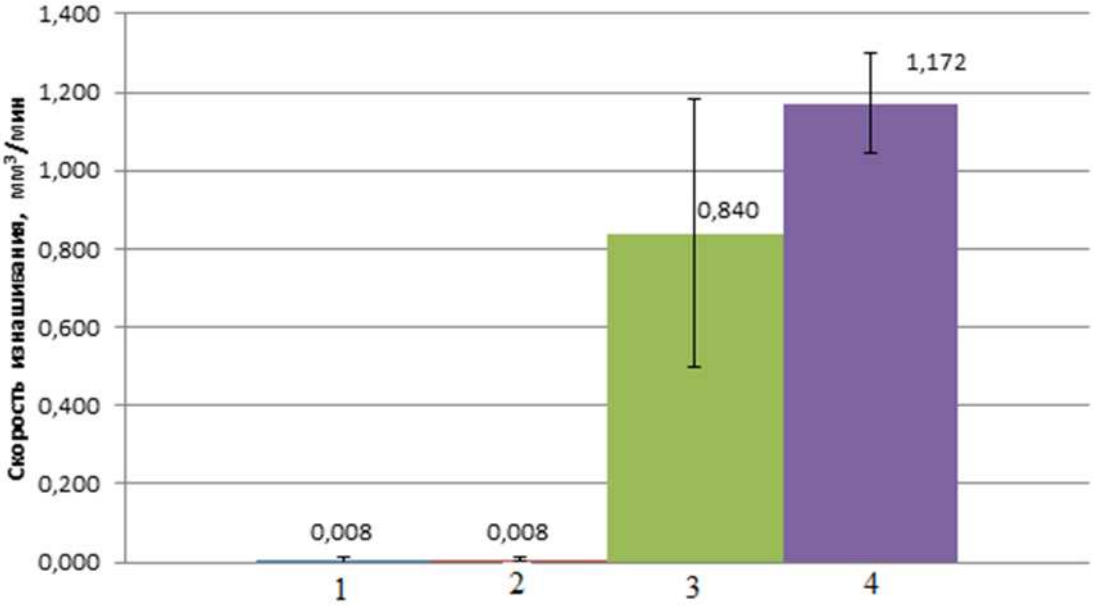


Рис. 2. Скорость изнашивания образца с покрытием меди, нанесённым при температуре: 1 - 270°С и 2 - 450°С, а также 3 - бронзы и 4 – латуни

Сравнивая полученные результаты испытания пары в воде с ранее полученными испытаниями пары трения в условиях жидкой и консистентной смазки можно отметить следующее. При обоих условиях испытания скорость изнашивания покрытия меди незначительна. Однако, при испытании в воде износ контртела весьма существенный. В качестве характеристик, которые оказывают влияние на результат испытании, следует рассмотреть и оценить следующие. Безусловно, более низкая твёрдость стали 40Х13 может влиять на повышенный износ контртела с учётом наличия в покрытии частичек структурно свободного корунда. Однако, важнее влияние другого фактора, а именно наличие в структуре покрытия пор и мелких полостей, которые при наличии жидкой или пластичной смазки удерживают её и тем самым снижают коэффициент трения и износ.

Испытание в условиях сухого трения

Сравнительные испытания образцов с покрытием меди и образцами, изготовленными из латуни Л68, проводили по схеме палец – диск в паре с контртелом из стали ШХ15 твёрдостью 58-60 МПа при скорости перемещения 1м\с и удельном напряжении 0,2 МПа [4].

Интенсивность изнашивания образцов с нанесённым покрытием меди и образца из латуни изменяется по разному в зависимости от времени испытания (длины пути). Результаты испытаний представлены в виде линейной аппроксимации полученных значений (рис.3).

У покрытия, нанесённого при температуре 450°С, интенсивность изнашивания имеет минимальную величину при незначительном времени испытания (15 мин). При увеличении продолжительности она также ниже, чем у покрытия меди, нанесенного при низкой температуре, а также у латуни.

Интенсивность изнашивания образца из латуни Л68 оказывается достаточно близкой к интенсивности изнашивания покрытия меди, напылённого при низкой температуре. Сравнительные испытания покрытия меди с образцом из латуни Л68 в условиях сухого трения показывают более высокую износостойкость покрытия при достаточно значительном пробеге.

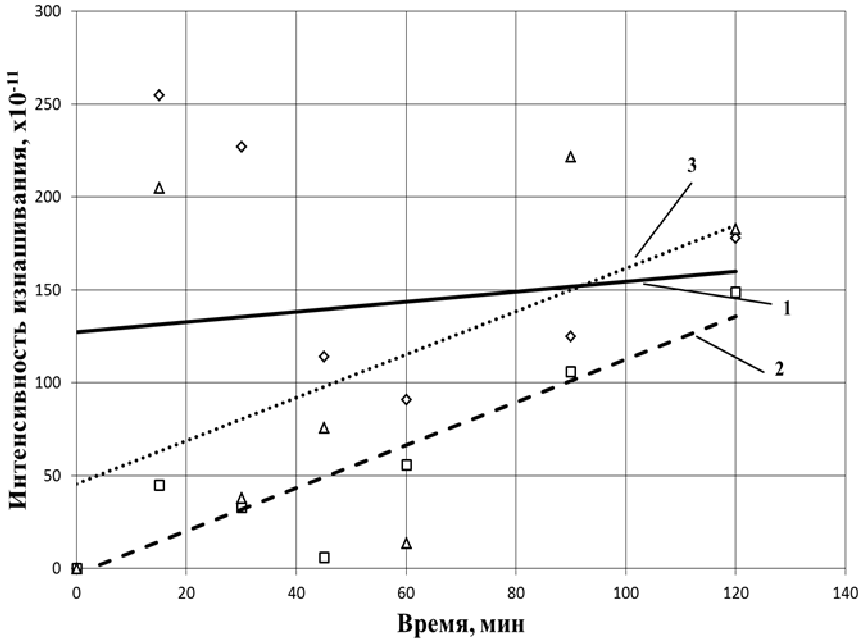


Рис. 3. Зависимость интенсивности изнашивания образцов от времени испытания для покрытия меди, нанесённого при температуре: 1 – 270°С, 2 - 450°С и 3 – латунь Л68

Обращая внимание на существенные преимущества метода газодинамического напыления, такие как компактность и надёжность оборудования, позволяющие наносить качественное покрытие в производственных и полевых условиях, низкий нагрев материала основы, возможность быстрого изменения технологических параметров напыления, например температуры, позволяющее адаптировать покрытие к необходимым для работы узла трения эксплуатационным характеристикам, можно рекомендовать его для применения в современных изделиях машиностроения при различных условиях трения.

Список литературы: 1. Кубанцева В.В. К анализу современного состояния машиностроительного комплекса // Тяжелое машиностроение. – 2010 – №2. – С.39. **2.** Адгезия и когезия газодинамических покрытий / В.Е. Архипов, А.В. Балашова, А.Ф. Лондарский, Г.В. Москвитин, М.С. Пугачев // Труды конференции «Живучесть и конструкционное материаловедение (ЖивКоМ – 2016)». 26-28 октября 2016. С. 196-199. **3.** Архипов В.Е., Дубравина А.В., Лондарский А.Ф., Москвитин Г.В., Пугачёв М.С., Хрущёв М.М. Коррозионные свойства покрытий, нанесенных газодинамическим напылением / Коррозия: материалы, защита. 2014. № 4. С. 33-38. **4.** Куксенова Л.И., Лаптева В.Г., Колмаков А.Г., Рыбакова Л.М. Методы испытаний на трение и износ. Справочное издание М.: Интермет Инжиниринг, 2001. 152 с.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЛОКАЛЬНЫХ ОБЛАСТЕЙ НЕУПРУГОСТИ В МАТЕРИАЛАХ РАЗЛИЧНОЙ ПРИРОДЫ, СТРОЕНИЯ И СТРУКТУРЫ ПО ДАННЫМ ДИНАМИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ИССЛЕДОВАНИЯ

Белашова И.С., Горшков А.А., Коровайцева Е.А., Ломовской В.А., Ломовская Н.Ю. *(МАИ, РТУ МИРЭА, НИИ механики МГУ, ИФХЭ РАН, г. Москва, Россия)*
E-mail: ag60341@gmail.com

Abstract: *On the basis of Maxwell phenomenological model theoretical methods of local temperature domains of the material shear modulus decreasing at harmonic external action identification are considered.*
Key words: *Elasticity, inelasticity, viscoelasticity, elastoviscosity, internal friction, dissipation, shear modulus, Kohlrausch kernel, Maxwell model.*

Исследование температурной зависимости модуля упругости и диссипативных потерь части энергии внешнего динамического механического воздействия (спектров внутреннего трения) показывает, что зависимости модулей упругости $C_{ijkl} - f(T,K)$ в моно- и поликристаллических металлических системах существенно различаются. В монокристаллических бездефектных системах спектры внутреннего трения $\lambda - f(T,K)$ представляются в виде фона диссипативных потерь. Этот фон состоит из двух частей: линейной (в области низких температур) и экспоненциально возрастающей при повышении температуры вплоть до температуры фазового перехода. Высокотемпературная часть фона, в первом приближении, описывается соотношением вида $\lambda \approx A\exp\left(\frac{U}{kT}\right)$[1]. Модуль упругости $C_{ijkl} - f(T,K)$ для этих монокристаллов линейно и монотонно уменьшается для первого участка диссипативных потерь и экспоненциально, в соответствии с соотношением вида $C_{ijkl} \approx B\exp\left(\frac{t}{\tau}\right)^{-b}$, для высокотемпературного участка.

В поликристаллических системах спектр $\lambda - f(T,K)$ представляет собой совокупность фона внутреннего трения с накладывающимися на него пиками потерь, которые обусловлены подвижностью различного рода дефектов кристаллической структуры. Пики потерь могут располагаться при любых температурах. Спектр $\lambda - f(T,K)$ уже не может быть описан простой экспоненциальной зависимостью. И модуль упругости $C_{ijkl} - f(T,K)$ в этом случае представляет собой сложную зависимость от температуры. Для каждого пика потерь на спектре $\lambda - f(T,K)$ в интервале температур его проявления наблюдается локальное изменение температурной зависимости модуля упругости всей системы. При теоретическом анализе зависимостей $\lambda - f(T,K)$ и $C_{ijkl} - f(T,K)$ в рамках обобщенной феноменологической модели Максвелла используется представление о исследуемом материале, как о системе, состоящей из совокупности квазинезависимо реагирующих на внешнее деформирующее воздействие структурно-кинетических подсистем. Каждая подсистема характеризуется своими физико-механическими характеристиками (модуль упругости, время релаксации, энергия активации и т.п.), поэтому элементы каждой структурной подсистемы будут обладать различной степенью свободы в рамках всей системы. Появление возможности относительной свободы локальной подвижности для элементов каждой структурно-кинетической подсистемы приводит к

[1] Где λ - логарифмический декремент колебательного процесса исследуемой системы; A, b и B - постоянные коэффициенты; U - энергия активации процесса смещения атомов или вакансий; T - температура; t - частотно-временной параметр; τ - параметр релаксации, зависящий от температуры.

возрастанию степени термодинамической необратимости для той или иной подсистемы в различных температурных областях спектра $\lambda - f(T,K)$. Это, в свою очередь, приводит к локальному (только в температурной области того или иного диссипативного процесса) изменению модуля упругости, как для структурно-кинетической подсистемы в отдельности, так и для всей системы (материала) в целом. Описание локального температурного изменения модуля сдвига приводит к отходу от гуковской реакции всей системы (или той или иной подсистемы) на внешнее деформирующее воздействие, выводящее все структурно-кинетические элементы всей системы (материала) из состояния механического и термодинамического равновесия. В этом случае используется уравнение наследственной неупругости Больцмана-Вольтерра, в которое входит та или иная функция релаксации в виде ядра релаксации в подинтегральном выражении данного уравнения. В статических режимах исследования проявляется реакция на внешнее воздействие только основной формообразующей агрегатной подсистемы. В динамических режимах проявляется реакция уже каждой структурно-кинетической подсистемы и для каждой подсистемы, в общем случае, используется своё ядро релаксации. В данной работе рассмотрена возможность использования в качестве ядра релаксации дробно-экспоненциальной функции Кольрауша для системы, состоящей из одной структурно-кинетической подсистемы (например, для агрегатной подсистемы монокристаллического материала). В общем случае математическая зависимость между напряжением $\sigma(t)$ и деформацией $\varepsilon(t)$ для вязкоупругих систем в тензорном виде представляет мгновенное значение тензора напряжений от истории компонент тензора деформаций и имеет вид:

$$\sigma_{ij}(t) = \overset{\infty}{\underset{\Theta=0}{\Psi}}\left[\varepsilon_{kl}(t-\Theta), \varepsilon_{kl}(t)\right], \tag{1}$$

где $\overset{\infty}{\underset{\Theta=0}{\Psi}}_{ij}[\ldots]$ - линейный тензорозначный функционал, преобразующий каждую историю изменения деформации $\varepsilon_{ij}(t)$ при $-\infty \le t \le \infty$ в соответствующую историю изменения напряжения $\sigma_{ij}(t)$. Этот функционал параметрически зависит от текущего значения деформации $\varepsilon_{kl}(t)$ и соответствует эффекту мгновенной упругости. Если история деформации $\varepsilon_{kl}(t)$ является непрерывной, а функционал $\overset{\infty}{\underset{\Theta=0}{\Psi}}_{ij}[\ldots]$ - линейным, то соотношение (1) может быть представлено в виде интеграла Стилтьеса в виде:

$$\sigma_{ij}(t) = \int_0^{\infty} \varepsilon_{kl}(t-\Theta)\, d\varphi_{ijkl}(\Theta), \tag{2}$$

где $\varphi_{ijkl}(\Theta)$ - тензорная функция релаксации (тензор 4-го ранга). При этом $\varphi_{ijkl}(\Theta) = 0$ при $-\infty < t < 0$. Данная формула «наследственного» уравнения показывает, что напряжение $\sigma_{ij}(t)$ не зависит от каких либо сдвигов по шкале времени, т.е. это соотношение инвариантно по отношению к периоду Θ во времени. Если при $t < 0$ деформация $\varepsilon_{ij}(t) = 0$, а тензорная функция релаксации $\varphi_{ijkl}(\Theta)$ и её первая производная $d\varphi_{ijkl}(\Theta) \big/ d\Theta$ непрерывны на интервале $0 \le t \le \infty$, то соотношение (2) представляется в виде:

$$\sigma_{ij}(t) = \varphi_{ijkl}(0)\varepsilon_{kl}(t) + \int_0^t \varepsilon_{kl}(t-\Theta)\frac{d\varphi_{ijkl}(\Theta)}{d\Theta} d\Theta \tag{3}$$

Или, после интегрирования по частям:

$$\sigma_{ij}(t) = \int_0^t \varphi_{ijkl}(t-\Theta)\frac{d\varepsilon_{kl}(\Theta)}{d\Theta} d\Theta \tag{4}$$

Функция $\varphi_{ijkl}(t-\Theta)$ должна удовлетворять следующим условиям:

1) $\lim\limits_{\Theta\to 0}\varphi(t-\Theta)\equiv\lim\limits_{t\to 0^+}\varphi(t)=+\infty$; 2) интеграл $\int\limits_0^t\varphi(\Theta)\,d\Theta$ должен сходиться (5)

В этом случае, функция $\varphi(t)$ является слабосингулярной, где стремление $t\to 0^+$ рассматривается с моментов времени $t_i\geq t$, т.е. с положительной области времен. Кроме того, эта функция должна удовлетворять ещё четыре асимптотическим условиям функции (ядру) релаксации:

$$1)\ \lim_{t=0}\varphi(t)=1;\ 2)\ \lim_{t\to 0}\varphi(t)=\lim_{p\to\infty}p\bar{\varphi}(p);$$

$$3)\ \lim_{t=0}\varphi(t)=0\equiv const;\ 4)\ \lim_{t\to\infty}\varphi(t)=\lim_{p\to 0}p\bar{\varphi}(p) \quad (6)$$

Ядро Кольрауша представляет собой дробную экспоненту вида:

$$\varphi(t)=\exp\left[-\left(\frac{t}{\tau}\right)^b\right];\quad 0<b\leq 1 \quad (7)$$

Преобразование Лапласа для этой функции:

$$\bar{\varphi}(p)=\int\limits_0^\infty e^{-\left(t/\tau\right)^b}e^{-pt}dt=\int\limits_0^\infty e^{-\left[\left(t/\tau\right)^b+pt\right]}dt \quad (8)$$

Вычисление в аналитическом виде данной функции затруднительно, поэтому применяется аппроксимация функции (7) с разложением её в степенной ряд:

$$e^{-\left(t/\tau\right)^b}=1-\left(\frac{t}{\tau}\right)^b+\frac{1}{2!}\left(\frac{t}{\tau}\right)^{2b}-\frac{1}{3!}\left(\frac{t}{\tau}\right)^{3b}+\ldots+\frac{1}{n!}\left(\frac{t}{\tau}\right)^{nb}+\ldots=\sum_{n=0}^{\infty}\frac{(-1)^n}{n!}\left(\frac{t}{\tau}\right)^{nb} \quad (9)$$

Интервал сходимости этого ряда – вся числовая ось, т.е. при любых значениях t этот ряд представляет функцию (7). Преобразование Лапласа к соотношению (9) имеет вид:

$$\varphi(p)=\Lambda\left[e^{-\left(t/\tau\right)^b}\right]=\sum_{n=0}^{\infty}\frac{(-1)^n}{n!\tau^{nb}}\Lambda\left[t^{nb}\right]=\sum_{n=0}^{\infty}\frac{(-1)^n}{n!\tau^{nb}}\cdot\frac{\Gamma(nb+1)}{p^{nb+1}}=$$

$$=\sum_{n=0}^{\infty}\frac{(-1)^n}{n!}\cdot\frac{\tau\Gamma(nb+1)}{(p\tau)^{nb+1}}=\tau\sum_{n=0}^{\infty}(-1)^n\cdot\frac{\Gamma(nb+1)}{n!}\cdot\frac{1}{(p\tau)^{nb+1}} \quad (10)$$

Этот ряд сходится во внешней части некоторого круга, а именно (приняв обозначения):

$$U_n=(-1)^n\frac{\Gamma(nb+1)}{n!}\cdot\frac{1}{(p\tau)^{nb+1}};$$

$$U_{n+1}=(-1)^{n+1}\frac{\Gamma(nb+b+1)}{(n+1)!}\cdot\frac{1}{(p\tau)^{nb+b+1}}$$

$$\lim_{n\to\infty}\left|\frac{U_{n+1}}{U_n}\right|=\lim_{n\to\infty}\left|\frac{\Gamma(nb+b+1)n!(p\tau)^{nb+1}}{(n=1)!(p\tau)^{nb+b+1}\cdot\Gamma(nb+1)}\right|=\frac{1}{|p\tau|^b}\lim_{n\to\infty}\frac{\Gamma(nb+b+1)}{\Gamma(nb+1)}\cdot\frac{1}{n+1}=0$$

при $|p|>0$. Таким образом, ряд (10) сходится во всей комплексной плоскости, кроме начала координат. Но, так как каждый член ряда (10) имеет смысл лишь в правой полуплоскости $\mathrm{Re}\,p>0$, то ряд может рассматриваться также при всех значениях $\mathrm{Re}\,p>0$ и функция Кольрауша может быть использована для описания диссипативного процесса релаксационной природы в динамических методах исследования температурных областей локальной неупругости.

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

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РАСЧЕТНЫХ МЕТОДОВ ДЛЯ АНАЛИЗА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ВЫСОКОЭФФЕКТИВНОЙ ОБРАБОТКИ И ПРОГНОЗИРОВАНИЯ СВОЙСТВ ОБРАБАТЫВАЕМЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ*

Белашова И.С., Кузьмин С.Д.
(Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ), г. Москва, Россия)
Тел.: +7 903 555-27-91; E-mail: irina455@inbox.ru

Abstract: *To improve the efficiency of processing of parts by high-energy methods of impact, which require precise selection of modes, it is advisable to use mathematical methods of analysis and forecasting. The paper shows the basic techniques and methods of mathematical analysis, including selection of laser processing modes by obtaining and analyzing of the regression equation by the method of mathematical planning of the experiment and the prediction of the main characteristics of the treated surfaces through the solution of the heat equation.*
Key words: *experiment planning, regression analysis; mathematical modeling; mathematical planning of experiment.*

Стремление современной промышленности к сокращению эксплуатационных расходов и расходов на проведение экспериментов, а также широкое развитие математических методов, программного и аппаратного обеспечения приводит к разработке, совершенствованию и внедрению современных математических методов прогнозирования и моделирования. Для эффективного проведения научных экспериментов широко применяется метод «планирование эксперимента». Основная цель метода — достижение максимальной точности измерений при минимальном количестве проведенных опытов и сохранении статистической достоверности результатов. Особенно широкое применение данный метод моделирования находит в сложных, дорогостоящих и наукоемких отраслях промышленности, к которым в том числе относятся методы лазерного воздействия на материал. Данная обработка характеризуется сложностью подбора режимов обработки для каждого обрабатываемого материала и метода обработки. К наиболее технологически сложным, но в тоже время современным методам обработки относится метод лазерного термического воздействия – метод лазерного термоупрочнения. В основе данного метода лежит воздействие на материал концентрированного источника энергии. Такая обработка позволяет получить на заданной глубине и траектории обработки уникальные свойства поверхности [6][7]. Использование для обработки излучения современных волоконных лазеров позволяет эффективно обрабатывать детали сложной формы по различным траекториям и принципам воздействия на материал [6][7]. Для эффективного применения методов лазерной обработки требуется проведение комплексного исследования влияния различных факторов обработки на упрочняемую поверхность. С целью оптимизации количества необходимых экспериментов и для определения преимущественного режима обработки целесообразно использование методов математического планирования эксперимента или регрессионного анализа. Регрессионный анализ является статистическим методом исследования зависимости случайной величины (параметра) от переменных величин (аргументов). Математическое моделирование позволяет показать зависимость параметров (коэффициентов, факторов) обработки на исследуемую характеристику материала (параметр оптимизации). Для выявления количественных данных о степени влияния переменных параметров (факторов) обработки на твердость упрочняемого слоя предполагается использование методики

математического планирования эксперимента [1, 2] по модели полного факторного эксперимента 2^3(ПФЭ), которая позволяет качественно оценить линейные эффекты и все эффекты взаимодействия. Условия проведения опытов в кодированном масштабе записываются в виде таблицы (матрицы) планирования эксперимента. Моделирование сводится к нахождению по результатам эксперимента значений неизвестных коэффициентов и получение адекватной модели, выраженной в виде уравнения регрессии (1).

Оценку адекватности модели проводят путем сравнения расчетного и табличного значений критерий Фишера [1,2].

Уравнение регрессии в общем виде для ПФЭ представляется выражениями (1), (2) [1,2,3]:

$$y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_{12}x_1x_2 + b_{13}x_1x_3 + b_{23}x_2x_3 + b_{123}x_1x_2x_3 \quad (1)$$

$$y = b_0 + \sum_{i=1}^{n} b_i x_i + \sum_{\substack{j,i=1 \\ j<i}}^{n} b_{ji} x_j x_i + b_{123} x_1 x_2 x_3 \quad (2)$$

где b_0 − свободный член уравнения регрессии; b_i − коэффициенты линейного эффекта, b_{ji} − коэффициенты эффекта парного взаимодействия, b_{123} − коэффициенты эффекта тройного взаимодействия, n − число факторов, x_j и x_i − факторы эксперимента.

Вычисление коэффициентов уравнения, характеризующих линейные эффекты определяются по формуле [3, 4]:

$$b_i = \frac{\sum_{k=1}^{N} x_i Y_{k\,эксп}}{N}, \quad (3)$$

где x_i − фактор эксперимента

Определение коэффициентов уравнения, характеризующих эффекты взаимодействия b_{ji}, выполняется по формуле [1,2,3]:

$$b_{ji} = \frac{\sum_{k=1}^{N} x_j x_i Y_{k\,эксп}}{N}, \quad (4)$$

где i и j − номера факторов эксперимента

Определение коэффициентов уравнения, характеризующих эффекты тройного взаимодействия b_{123}, выполняется по формуле [3, 4]:

$$b_{123} = \frac{\sum_{k=1}^{N} (x_1x_2x_3)_i Y_{k\,эксп}}{N}, \quad (5)$$

Для теоретического определения параметров процесса лазерной термической обработки, таких как ширина и глубина зоны закалки и зоны лазерного влияния, скорости нагрева и охлаждения в зоне обработки целесообразно проведение математического расчета через решение уравнения теплопроводности. Для расчета применяются некоторые допущения, которые незначительно влияют на точность расчета для большинства прикладных задач [4, 5].

Для выбора расчетной модели необходимо проведения оценки некоторых параметров процесса: vt>Vl – движущийся источник, ht≈rp – распределенный источник, ht<H – модель полубесконечной тепловой задачи. Для модели полубесконечного тела с движущимся распределенным гауссовским источником нагрева (цилиндрическая симметрия) уравнение теплопроводности на стадии нагрева имеет вид [5] (6):

$$T3_{i,k} = B \cdot \int_0^{tw} \exp\left(\frac{\frac{(z_i)^2}{x} + \frac{(r_k)^2}{t0+x}}{-4 \cdot a}\right) \cdot \frac{1}{\sqrt{x} \cdot (t0+x)} dx \quad (6)$$

где $B = \frac{2 \cdot A \cdot P}{c \cdot \rho \cdot (4 \cdot \pi \cdot a)^{1.5}}$, $t0 = \frac{rp^2}{4 \cdot a}$, a - *температуропроводность материала*

и на стадии охлаждения TR(z,r) [7]:

$$TR_{i,k} = B\left(\int_0^{tf} \exp\left(\frac{\frac{(z_i)^2}{w} + \frac{(r_k)^2}{t0+w}}{-4 \cdot a}\right) \cdot \frac{1}{\sqrt{w} \cdot (t0+w)} dw - \int_0^{tf-ti} \exp\left(\frac{\frac{(z_i)^2}{w} + \frac{(r_k)^2}{t0+w}}{-4 \cdot a}\right) \cdot \frac{1}{\sqrt{w} \cdot (t0+w)} dw\right), \quad (7)$$

где $B = \frac{2 \cdot A \cdot P}{c \cdot \rho \cdot (4 \cdot \pi \cdot a)^{1.5}}$, $t0 = \frac{rp^2}{4 \cdot a}$

Решение уравнения теплопроводности с учетом принятых допущений позволяет с достаточной точностью произвести оценку влияния режимов обработки на распределение температуры в зоне лазерного воздействия и при необходимости произвести их корректировку.

Математическое моделирование тепловых процессов в сочетании с регрессионным анализом по методу планирования эксперимента позволяют произвести теоретический выбор параметров процессов обработки, и дает возможность управления ими в заданных режимах.

**Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ в рамках выполнения государственного задания в сфере научной деятельности.*

Список литературы: 1. Кузьмин С.Д., Тарасова Т.В., Белашова И.С., Гусаров А.В., Белоконь Т.Д. Использование математического аппарата для планирования эксперимента и прогнозирования свойств поверхности образца после лазерной обработки // Упрочняющие технологии и покрытия, 2017. Т.13. №9. С. 416-420. **2.** Адлер Ю.П. Планирование экспериментов при поиске оптимальных условий [Текст]/ Ю.П. Адлер, Е.В. Маркова, Ю.И. Грановский - М.: Наука, 1976. – 277 с. **3.** Новик Ф.С. Планирование эксперимента на симплекс при изучении металлических систем [Текст]. - М.: Металлургия, 1985. -255с. **4.** Бертяев Б. И., Завестовская И. Н., Игошин В. И., Катулин В. А., Шишковский И. В. Физические основы моделирования и оптимизации процесса лазерной поверхностной закалки сталей [Текст] / Б. И. Бертяев, И. Н. Завестовская, В. И. Игошин, В. А. Катулин, И. В. Шишковский // Труды ФИАН - М.: Наука. - 1989. - Т.198, С. 5-23. **5.** Лазерная и электронно-лучевая обработка материалов: Справочник / Н.Н. Рыкалин, А.А. Углов, И.В. Зуев, А.Н. Кохора.-М.: Машиностроение, 1985. -496с., ил. **6.** Тарасова Т.В., Кузьмин С.Д., Белашова И.С., Прокофьев М.В., Белоконь Т.Д. Исследование влияния воздействия лазерного излучения на микроструктуру и свойства коррозионно-стойкой стали // Упрочняющие технологии и покрытия, 2017. Т.13. №5. С. 221-225. **7.** Тарасова Т.В., Кузьмин С.Д., Белашова И.С., Белоконь Т.Д. Влияние степени дискретного упрочнения поверхности на триботехнические характеристики сталей и сплавов [Электронный ресурс] /Тарасова Т.В. Кузьмин С.Д., Белашова И.С. Белоконь Т.Д.// Russian Internet Journal of Industrial Engineering, 2015.-Vol.3, - n.1.

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СМЕННЫХ МНОГОГРАННЫХ ПЛАСТИН ДЛЯ ОБРАБОТКИ НЕРЖАВЕЮЩИХ И ЖАРОПРОЧНЫХ СПЛАВОВ

Беляков А.М., Ковеленов Н.Ю., Михайлов С.В.
(*ООО «Вириал», КГУ, г. Санкт-Петербург, г. Кострома, Россия)*
Тел./Факс: +7 (4942) 49-80-00; E-mail: info@virial.ru

Abstract: *The paper describes the specifics of designing the complex-shaped indexable cutting inserts for use under high strains, cutting forces and cutting temperatures. The authors describe original designs of indexable cutting inserts developed for cutting of stainless steel, heat-resistant alloys and Ti-based alloys.*
Keywords: *cutting of heat-resistant alloys, tools design, chip breaking, complex-shaped turning inserts.*

Изложена методика проектирования сменных режущих пластин с криволинейной передней поверхностью для обработки нержавеющих и жаропрочных сплавов. Совершенствование пластин связано с улучшением процесса стружкообразования за счет создания специальных форм рабочих поверхностей с укороченным участком контакта стружки с инструментом. По силовым характеристикам, стойкости и диапазону стружкодробления новый инструмент не уступает зарубежным аналогам.

В настоящее время распространение получают материалы с высокими показателями коррозионной стойкости, прочности и теплостойкости. Сплавы с такими свойствами значительно хуже поддаются обработке резанием по сравнению с обычными конструкционными сталями. При обработке этих материалов наблюдаются повышенные деформации срезаемого слоя, значительное увеличение силы и мощности резания, повышение температуры в зоне резания, усиление явлений адгезии и диффузии, увеличение износа рабочих поверхностей инструмента. Специфические особенности резания труднообрабатываемых нержавеющих и жаропрочных сплавов требуют применения инструментов, обладающих более высокой теплостойкостью, хорошей сопротивляемостью износу, стабильностью режущих свойств. Повышенные требования предъявляются и к геометрии инструмента, оказывающей существенное влияние на механику резания и его выходные характеристики.

Анализ известных конструкций сменных многогранных пластин (СМП) для токарной обработки жаропрочных и нержавеющих материалов позволяет сделать следующие выводы. Проектирование сложнопрофильного инструмента в первую очередь связано с решением задач механики стружкообразования и прочности лезвия инструмента. Уменьшение силы стружкообразования и более благоприятного распределения контактных давлений на лезвии инструмента успешно решается путем создания положительных углов схода стружки с укороченной передней поверхности режущей пластины. Уменьшение и стабилизация длины пластического контакта стружки с передней поверхностью инструмента приводит к уменьшению степени пластической деформации срезаемого слоя и, как следствие, сил и температуры резания. Наибольший эффект получается в результате совмещения укороченной передней поверхности с оптимально расположенными стружкозавивающими элнментами. В этом случае стружкодробление не приводит к дополнительному увеличению сил резания. При назначении геометрических параметров необходимо учитывать, что увеличение передних углов на укороченном участке контакта со стружкой повышает качество поверхностного слоя деталей, вызывая уменьшение глубины наклепа и остаточных напряжений в нем. Ограничительным фактором является прочность режущей пластины.

Недостатком большинства известных конструкций СМП является наличие стружкозавивающих и стружкодеформирующих элементов, расположенных на пути схода стружки вблизи с укороченной передней поверхностью. При резании пластинами, стружка касается поверхностей этих элементов, что приводит к увеличению площади контакта стружки с передней поверхностью инструмента, росту сопротивления трения, сил и температуры резания. Ухудшение механики резания в конечном итоге сказывается на снижении износостойкости пластины.

Повышение работоспособности режущих пластин возможно за счет оптимизации геометрических параметров передней поверхности инструмента. Для уменьшения трения стружки со стружкозавивающими элементами вблизи зоны резания необходимо учесть продавливание стружки силами резания в канавку и изменение угла схода γ_c на выходе стружки из контакта с укороченной передней поверхностью. С этой целью радиус канавки должен быть меньше величины радиуса кривизны стружки [1]. На рис. 1 показана схема стружкообразования при резании сложнопрофильной пластиной с укороченной передней поверхностью.

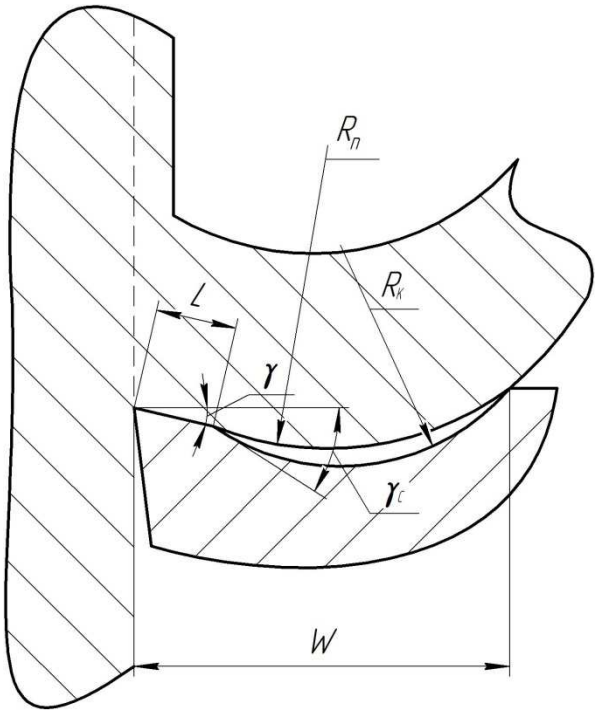


Рис. 1. Схема стружкообразования при резании пластиной со стружкозавивающей канавкой и укороченной передней поверхностью

Стружкозавивающая поверхность сменной режущей пластины состоит из укороченной прямолинейной поверхности длиной L, расположенной под углом γ и канавки радиусом $R_к$. Задняя стенка стружкозавивающей канавки удалена от режущей кромки на расстояние W.

Наличие на пластине укороченной передней поверхности и стружкозавивающих элементов стабилизирует параметры зоны резания, уменьшая диапазон варьирования кривизны стружки при взаимодействии с возникающими на ее пути препятствиями. За пределами контакта с резцом стружка перемещается как уже сформировавшееся тело, траектория движения которого ограничена связью со стороны задней стенки канавки. При известной длине контакта стружки с резцом L и геометрических параметров стружкозавивающей поверхности инструмента $R_к$, $\gamma_к$, W, γ

величина радиуса кривизны стружки может быть определена геометрическим путем. Для схемы резания, показанной на рис.1 радиус стружки равен:

$$R_n = 0{,}5(W - l \cdot \cos\gamma) / \sin\gamma .$$

Учитывая неизбежное затягивание стружки в канавку, для устранения возможного контакта стружки с поверхностью канавки необходимо, чтобы радиус канавки был меньше радиуса стружки:

$$R_к < 0{,}8\ R_n.$$

За счет оптимизации конструкции передней поверхности пластины улучшается механика стружкообразования, уменьшается температура резания и интенсивность износа инструмента. Снижение теплообразования приводит к уменьшению температуры стружки, делая ее менее пластичной, что повышает надежность стружкодробления. Расширение технологических возможностей пластины осуществляется на основе управления пространственным завиванием стружки за счет изменения геометрических параметров вдоль режущей кромки.

В результате изучения особенностей сливного стружкообразования при резании инструментом с укороченной передней поверхностью разработана система новых конструкций сменных сложнопрофильных режущих пластин с повышенными эксплуатационными свойствами (рис. 2.).

Рис. 2. Внешний вид СМП ООО «Вириал»

Разрабатываемый инструмент принципиально отличается от известных аналогов, так как имеет очевидные преимущества на проблемных, наиболее ответственных операциях механической обработки нержавеющих и жаропрочных сплавов, широко используемых в авиационной и оборонной промышленности.

Технология изготовления режущих пластин с повышенными эксплуатационными свойствами разработана и реализована на инструментальном заводе ООО «Вириал», г. Санкт-Петербург.

Список литературы: 1. RU178490 (U1) - Сменная многогранная режущая пластина / Михайлов С.В., Ковеленов Н.Ю., Болотских С.В.; заявитель: ООО «Вириал» [RU]; опубл. 05.04.2018.

ОБЗОР АЛГОРИТМОВ РАСПАРАЛЛЕЛИВАНИЯ ДАННЫХ В МУЛЬТИПРОЦЕССОРНЫХ СИСТЕМАХ

Борзов Д.Б., Басов Р.Г. *(Юго Западный государственный университет, Россия)*
Тел./Факс: +79192736700; E-mail: borzovdb@kursknet.ru

Abstract: *The article provides an overview of the approaches to parallelizing the data used in solving the problems of scheduling theory: about knapsack, traveling salesman, ant algorithm, etc. Algorithms are based on the parallel construction of the decision tree and are united by common methods of decomposition of the main problem.*
Keywords: *scheduling theory, parallelization, algorithms, decomposition, multiprocessor system, data*

В современном мире задачи улучшения быстродействия и повышения производительности, все более актуальны. Во многих современных системах для ускорения используется параллельные алгоритмы и методы обработки данных для мульти процессорных систем.

Рассмотрим способы распараллеливания, объединенные общим подходом к декомпозиции задачи на подзадачи [1]. Декомпозиция производится в момент освобождения процессора, для запроса новой задачи. Наличие управляющего процессора для данных задач не требуется, освободившийся процессор делает запрос к другим процессором. Существуют различные способы выбора процессор-донора.

Во время выполнения задачи процессор проверят, не поступили ли к нему запросы от других процессоров. Если запрос поступил, вычисляется эффективность декомпозиции текущей задачи. В случае возможности декомпозиций, часть задач передается на обработку, в противном случае – на отказ.

Гарантированное планирование - при интерактивной работе N пользователей в вычислительной системе можно применить алгоритм планирования, который гарантирует, что каждый из пользователей будет иметь в своем распоряжении ~1/N часть процессорного времени. К недостаткам рассматриваемого алгоритма можно отнести невозможность предугадать поведение пользователей. Если некоторый пользователь на пару часов, например перестал следить за алгоритмом, не прерывая сеанса работы, то по возвращении процессы выполняемых задач будут получать неоправданно много процессорного времени.

Приоритетное планирование – в этом случае каждому процессу присваивается числовое значение – приоритет, в соответствии с которым ему выделяется процессор. Для алгоритма гарантированного планирования приоритетом служит вычисленный коэффициент справедливости и чем он меньше, тем больше у процесса приоритет.

Главным недостатком приоритетного планирования является ненадлежащий выбор механизма назначения и изменения приоритетов. Низкоприоритетные процессы могут не запускаться неопределенно долгое время. Тогда, обычно, случается одно из двух или они все дожидаются своей очереди на исполнение или вычислительную систему приходится выключать, и они теряются. Решение этой проблемы может быть достигнуто с помощью увеличения со временем значения приоритета процесса, находящегося в состоянии готовность. Даже такая схема не гарантирует, что любому процессу будет предоставлено право на исполнение.

Метод асинхронный циклический (asynchronousroundrobin (ARR)). В каждом процессоре хранится переменная target (идентификатор процессора-донора). Освободившийся процессор, посылает запрос процессору-донору с идентификатором target. Изначально target с идентификатором k равно (k+1)modq. Генерация запросов может проводиться процессорами независимо. Данный метод прост в реализации, однако из-за того что несколько процессоров могут обращаться к одному и тому же процессору одновременно, происходит неравномерное распределение запросов, что

может приводить к дополнительной нагрузке на процессор и сеть, что приводит к разбалансированности схемы распараллеливания.

Метод ближнего соседа (nearestneighbor (NN)). Схема распараллеливание, аналогична асинхронному методу. Особенность заключается в том, что освободившийся процессор запрашивает работу только у своих «соседей». Метод характеризуется более быстрым временем взаимодействия за счет локализации запросов на выполнение задач, но в то же время нагрузка за счет концентрации запросов среди «соседей» приводит к не планомерному распределению загрузки «дальних» процессоров.

Метод глобального цикла (global round robin (GRR)). По аналогии с асинхронным методом, данный вариант тоже предполагает использование переменной target, но в отличие от ARR данная переменная носит глобальный характер. Для хранения переменной target используется выделенный процессор, ответственный за увеличение переменно target на 1 по модулю q. Когда процессор освобождается, он делает запрос, выделенному процессору, для идентификации процессора-донора, что позволяет равномерно распределять запросы на работы между процессорами. Недостатками является большая нагрузка на выделенный процессор и сама пропускная способность, для обеспечения большего быстродействия.

Метод глобального цикла с объединением сообщений (globalroundrobinwithmessagecombining (GRR-M)). Для уменьшения нагрузки на выделенный процессор в GRR, создан метод, основанный на выделении дополнительного промежуточных процессоров для чтения переменной target с выделенного процессора. Поэтому количество обращений на выделенный процессор существенно уменьшается. Данная методика реализуется для проведения атомарных операций упреждающего суммирования[2].

Метод случайного выбора (randompolling (RP)). Это наиболее простой метод распараллеливания. Когда процессор освобождается, он запрашивает произвольный процессор-донор. Вероятность выбора процессора-донора, зависит от архитектуры, но чаще всего используется равновероятный выбор. Недостатком такой стратегии является потеря времени на опрашивание свободных процессоров при небольшой нагрузки системы.

Метод распараллеливания с использованием донора (schedulerbasedloadbalancing (SB)). В данном методе выделяется процессор-донор, который хранит данныеобо всех процессорах загруженных задачами. Список поддерживает очередность по принципу FIFO (First-In-first-Out). Как только процессор освободился, он направляет запрос выделенному процессору, для представления работы. Выделенный процессор циклически направляет запрос процессорам предоставления задачи, а тот процессор, который взял задачу автоматически встает в конец очереди. Преимущество данного метода, перед GRR в том, что не тратиться время на опрашивание свободных процессоров, но в то же время производительность будет очень зависеть от пропускной способности процессора – донора.

First-Come, First-Served (первым пришел, первым обслужен). Это простейший алгоритм планирования является алгоритм, который принято обозначать аббревиатурой FCFS. Представим себе, что процессы, находящиеся в состоянии готовность, выстроены в очередь. Когда процесс переходит в состояние готовность, он «становится» в конец этой очереди. Выбор нового процесса для исполнения осуществляется из начала очереди с удалением оттуда.

Преимуществом алгоритма FCFS является легкость реализации. В то же время он имеет много недостатков. Среднее время ожидания и среднее время выполнения для этого алгоритма существенно зависят от порядка расположения процессов в очереди. Если есть процесс с длительным CPU burst, то короткие процессы, перешедшие в состояние готовность после длительного процесса, будут долго ждать начала выполнения. Поэтому

алгоритм FCFS практически неприменим для систем разделения времени – слишком большим получается среднее время отклика в интерактивных процессах.

Метод "кратчайшая работа первой" (Shortest Job First, SJF). SJF-алгоритмы краткосрочного планирования может быть, как вытесняющими, так и невытесняющими. При невытесняющих SJF-алгоритмах, процессор предоставляется избранному процессу на все необходимое ему время, независимо от событий, происходящих в вычислительной системе. При вытесняющем SJF - планировании учитывается появление новых процессов в очереди готовых к исполнению во время работы выбранного процесса. Если CPU burst нового процесса меньше, чем остаток CPU burst у исполняющегося, то исполняющийся процесс вытесняется новым. Основную сложность при реализации алгоритма SJF представляет невозможность точного определения продолжительности очередного CPU burst для исполняющихся процессов.

Метод многоуровневых очередей (Multilevel Queue). Процессы рассортировываются по разным группам. Для каждой группы процессов создается своя очередь процессов, находящихся в состоянии готовности. Этим очередям приписываются фиксированные приоритеты. Например, приоритет очереди системных процессов устанавливается выше, чем приоритет очередей пользовательских процессов. Подобный подход, получивший название многоуровневых очередей, повышает гибкость планирования.

Многоуровневые очереди (Multilevel Queue). Процессы сортируются по разным группам. Для каждой группы процессов создается своя очередь процессов, находящихся в состоянии готовность. Этим очередям приписываются фиксированные приоритеты. Например, приоритет очереди системных процессов устанавливается выше, чем приоритет очередей пользовательских процессов. Это значит, что ни один пользовательский процесс не будет выбран для исполнения, пока есть хоть один готовый системный процесс. Внутри этих очередей для планирования могут применяться самые разные алгоритмы. Например, для больших счетных процессов, не требующих взаимодействия с пользователем (фоновых процессов), может использоваться алгоритм FCFS, а для интерактивных процессов – алгоритм RR. Подобный подход, получивший название многоуровневых очередей, повышает гибкость планирования: для процессов с различными характеристиками применяется наиболее подходящий им алгоритм.

Многоуровневые очереди с обратной связью (Multilevel Feedback Queue). Дальнейшим развитием алгоритма многоуровневых очередей является добавление к нему механизма обратной связи. Здесь процесс не постоянно приписан к определенной очереди, а может мигрировать из одной очереди в другую в зависимости от своего поведения.

Описанные выше вычислительные методы могут быть ислъзованы в широком круге практических задач. Соотношение время-производительность-экономичность всегда является наиболее актуальным. В системах высокой готовности значение времени, безусловно, играет огромную роль и использование различных вариантов распараллеливания. Данные методы могут быть реализованы программным образом, но для систем высокой готовности, где избыточность аппаратной реализации не только приемлема, но и необходима для повышения отказоустойчивости и быстродействия. Можно сделать вывод, что аппаратная реализация для таких систем может существенно улучшить основные показатели.

В дальнейших исследованиях планируется метода, алгоритма и специализированного устройства составления плана загрузки процессоров мультипроцессорной вычислительной системы.

Список литературы: 1. Кормен Т., Лейзерсон Ч., Ривест Р. Алгортмы: построение и анализ // М.: МЦНМО, 2001. **2.** Gotlieb A., the NYU ultracoputer – designing a MIMD, shared memory parallel processor // IEEE transactions on Computers, February, 1983.P 175-189.

АЛГОРИТМ ПЛАНИРОВАНИЯ ЗАГРУЗКИ ПРОЦЕССОРОВ В МУЛЬТИПРОЦЕССОРНЫХ СИСТЕМАХ

Борзов Д.Б., Басов Р.Г. *(Юго Западный государственный университет, Россия)*
Тел./Факс: +79192736700; E-mail: borzovdb@kursknet.ru

Abstract: *The article proposes an algorithm for scheduling the loading of processors in multiprocessor systems. The rationale for choosing the proposed set of steps is provided to achieve the required processor load.*
Keywords: *scheduling theory, parallelization, algorithms, decomposition, multiprocessor system, data*

В мультипроцессорной системе за маршрутизацию данных по процессорам отвечает хост-процессор, на который возложены и другие функции, такие как: генерация кода, компиляция, разбиение, загрузка системы, размещение и т.д [1-4].

В статье предлагается обобщенный алгоритм планирования загрузки процессоров в мультипроцессорных системах, решающие задачу оптимального планирования загрузки, при котором соотношения количества процессоров для обработки данных и время обработки минимально.

Исходная программа представлена графом $F=(Y,B)$, где Y – множество вершин соответствующим операторам $Y=\{y_1,y_2,\dots y_n\}_N$, а B – дуги показывают зависимость по данным $(y_i,y_j)\in B$, $i=1\dots N$, $j=1\dots N$. После преобразования исходной программы, данные представлены в виде множества задач $\{N_{nm}\}$, где n – это множества ярусов параллельного вида программы (Yar), а m – это количество ветвей (Br).

Ярусы - это не имеющие пересечений подмножества $Yar=\{Yar_1,Yar_1,...,Yar_C\}$ операторов внутри участка U_i программы $(Yar\in U_i, C\in[1,N])$, сформированные в процессе распараллеливания, предназначенные для параллельного выполнения [5]. Получается граф F, состоящий из m-х ярусов и n-х ветвей (рис.1).

Для операторов ветви - это не имеющие пересечений подмножества операторов участка, сформированные в процессе распараллеливания, предназначенные для последовательного выполнения.

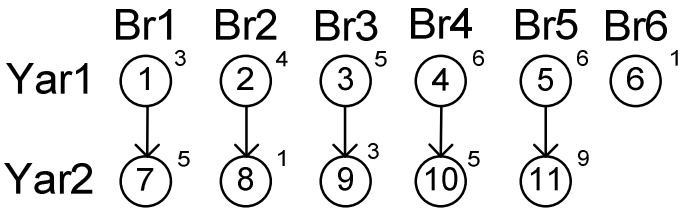


Рис. 1. Граф, допускающий параллельное выполнение операторов

Как видно (рис. 1), для обработки графа удобно использовать 8 процессоров. Сначала параллельно выполняются операторы 1-6, затем 7-11. В этом случае к моменту выполнения любого из операторов вычисляются необходимые данные для другого оператора. При этом будет исключена возможность одновременной записи данных в одну ячейку памяти, а также вероятность одновременного инициирования операций записи и чтения данных из какой-либо другой ячейки.

Граф (рис. 1) будет более оптимальным при меньшем количестве процессоров. Для мультипроцессорных систем это приводит к оптимальному распределению операторов по процессорам, а освоившиеся процессоры решают другие задачи (загрузку, маршрутизацию, размещение, общим управлением мультипроцессорной системой и т.п.), тем самым повышая производительность системы.

Для достижения оптимального распределения ресурсов требуется составить расписание, которое выполняется на идентичных процессорах $P = \{p_1, p_2, \dots p_m\}$, взаимодействующих через общую оперативную память.

Все *n* операций загружаются в подмножество {B} в порядке *FIFO*, по алгоритму выбора наиболее длинной операции [6].

Планирование загрузки процессоров в мультипроцессорных системах позволяет уменьшить нагрузку на хост-процессор и повысить отказоустойчивость системы и может состоять из состоит из следующих шагов:

1. Получить матрицу N распараллеленных операторов.
2. Разбить построчно матрицу N на матрицу S с размерностью P- количество процессоров.
3. Сопоставить данные из матрицы S со свободными процессорами P.
4. Записать результат распараллеливания в матрицу R.

Ограничения на время и порядок выполнения операций процессорами таковы:

1) Каждый процессор выполняет одновременно не более одной операции;
2) Операции выполняются в указанной последовательности;
3) общая длительность всех операций вычисляется по формуле $t_{ij} = \sum_{j=1}^{g_i} t_{ij}$.

Общее время t_{ij} включает в себя настройки процессора, предшествующие выполнению операции, все переналадки после выполнения операции. Предполагается, что длительность настройки процессоров не зависят от последовательности операций, то есть время, необходимое для подготовки процессора к выполнению некоторой операции, не зависит от предстоящей к выполнению операции.

Если P меньше реального количество процессоров или необходимо максимально загрузить процессоры, то необходимо разбить множество {N} так, чтобы загрузить процессоры $P = \{p_1, p_2, \dots p_m\}$, операциями *n*. В каждый момент времени множество ожидающих операций *n*, обозначим через {S}. Когда последняя операция включена в расписание и ее нечем заменить из {S}, тогда в {S} загружается следующий оператор. Составление расписания заканчивается, когда множество {N} становится пустым. При этом операции из множества {S} распределены и записаны в матрицу R, а расписание считается законченным.

Каждый оператор принадлежит определенному ярусу $y_i \in Y$ и допускает выполнение любым процессором $P = \{p_1, p_2, \dots p_m\}$ из множества свободных процессоров $p_i \in P$ за время равное длительности одного такта.

Выбор процессоров из множества $P = \{p_1, p_2, \dots p_m\}$ выполняется по методу распараллеливания с использованием донора [7]. В данном методе выделяется процессор-донор, который хранит данные обо всех загруженных процессорах. Список поддерживает очередность по принципу *FIFO*. Как только процессор освободился, он направляет запрос выделенному процессору.

Тогда обобщенный алгоритм планирования загрузки следующий:

1. Получить граф YB.
2. Преобразовать граф YB в множество $\{N_{nm}\}$.
3. Отсортировать операции подмножества $\{N_{nm}\}$ по уменьшению t_{ij}.
4. Разбить подмножества $\{N_{nm}\}$ на {S}, где $k = 1...m$, m ограничено количеством реальных процессоров.
5. Установить соответствие операций определенному процессору с помощью подмножества $\{S^k{}_{p_i}\}, k = 1...m$.
6. На каждом временном отрезке в множестве {S} ищется минимальное значение t_{ij} и

вычитается из других операторов из $\{S\}$.

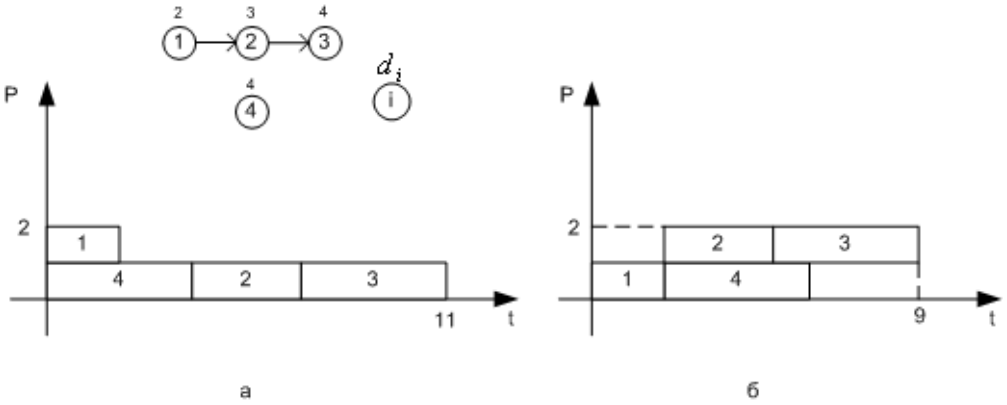
7. Как только время $t = 0$ процессора m, то загружается операция подмножества $\{N_{nm}\}$.

8. Записывается в $\{R_{nm}\}$ новый результат.

9. Операции с 5-го по 9-го пока в подмножестве $\{S\}$ полностью не будут пустыми, тогда составления расписания будет завершено.

Обобщенный алгоритм планирования загрузки процессоров состоит из задачи построения расписания выполнения работ проекта с учетов отношений предшествования и ограничения на ресурсы (Resource-Constrained Project Scheduling Problem. RCPSP), пример которого изображён на рис. 2.

Рассмотрим пример, изображенный на рисунке 2. Задача состоит из 4 операций. На графике (рис. 2) сверху над узлами указана продолжительность обработки операции d_i, то есть всего доступно 4 процессора. Получается расписание, где $C = 11$, (рисунок 2а), выполненное по алгоритму RCPSP. Если использовать модифицированный алгоритм RCPSP (рисунок 2б), то $C = 9$, а значит предложенный алгоритм более оптимален, так как при том же количестве процессоров время выполнения снижается примерно на 19%.



а б

Рис. 2. Пример алгоритма распределения

Преимущество данного метода, что не тратится время на опрашивание свободных процессоров, но в то же время производительность будет зависеть от пропускной способности процессора – донора. Для повышения надежности системы и обеспечения более высокой производительности, желательно функцию маршрутизации данных переложить с хост-процессора либо отдельное специализированное вычислительное устройство, что является предметом дальнейших исследований.

Список литературы: 1. Campbell H. G. A Heuristic Algorithm for The n-job, m-machine Scheduling Problem. Management Science. – 1970. – №. 16. – pp. 630-637. **2.** Semanco P. Hybrid GA-based Improvement Heuristic with Makespan Criterion for Flow-Shop Scheduling Problems. Communications in Computer and Information Science. – 2011. – №. 220.– pp. 11-18. **3.** Nawaz M. A Heuristic Algorithm for the m-machine, n-job Flow Shop Sequencing Problem International Journal of Management Science. –1983. – №. 11. – pp. 91-95. **4.** Dong X. An improved NEH-based heuristic for the permutation flowshop problem. Computers and Operations Research. – 2008. – №35(12). – pp. 3962–3968. **5.** Framinan J.M., Different initial sequences for the heuristic of Nawaz, Enscore and Ham to minimize makespan, idletime or owtime in the static permutation flowshop sequencing problem. International Journal of Production Research. – 2003. – №41, Issue 1. – pp. 121-148. **6.** Kalczynski P. J. An improved NEH heuristic to minimize makespan in permutation flow shops. Computers and Operations Research. – 2008. – №35(9). – pp. 3001–3008. **7.** Письменный Д.Т. Конспект лекций по теории вероятностей, математической статистике и случайным процессам. 3-е изд. М.: Айрис-пресс, 2008. 288 с.

УСТРОЙСТВА ПЛАНИРОВАНИЯ РАЗМЕЩЕНИЯ ПОДПРОГРАММ В КУБИЧЕСКИХ И КУБИЧЕСКИХ ЦИКЛИЧЕСКИХ МУЛЬТИПРОЦЕССОРНЫХ СИСТЕМАХ

Борзов Д.Б., Сизов А.С. *(Юго Западный государственный университет, Россия)*
Тел./Факс: +79192736700; E-mail: borzovdb@kursknet.ru

Abstract: *An approach to the planning for the deployment of the subprogrammes in multiprocessor systems critical appointment with cubic and cubic cyclic organization. Proposed application and use the approach in multiprocessor systems.*
Keywords: *approach, planning, multiprocessor, critical appointment, cyclic organization.*

В связи с увеличивающимися требованиями к вычислительной технике и с постоянным повышением сложности решаемых задач, возникает необходимость применения мультипроцессорной техники, число процессоров в которых составляет сотни и/или тысячи [1]. Это приводит к необходимости применения мультипроцессорных систем (МС) с более сложной топологической организацией (куб, «гиперкуб», «куб циклов», «двухсвязный куб» и т.п.) [2,3].

Пример организации «гиперкуб» представлен на рисунке 1.

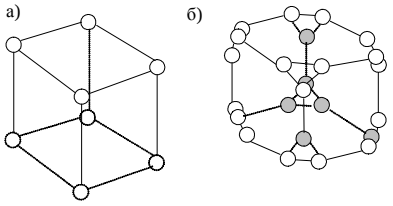


Рис. 1. Организация гиперкуб

В МС с организацией типа «гиперкуб» (рис. 1а) отдельные процессоры размещаются в вершинах d-мерного гиперкуба (d=3,4 …) с ребром длиной q (q = 2, 3, 4 …). На рисунке 1б представлен «куб циклов» Здесь каждая из 2^d вершин вместо одного элемента представлена циклом из d связных вершин. Каждый из них имеет по три двунаправленных канала связи.

В системах типа «гиперкуб» и «куб циклов» возникает большое количество вариантов передачи информации между процессорными модулями. В случае использования мультипроцессорной системы для критических систем (системы слежения, наблюдения, прицеливания, атомные и .т.п.) требуется снижения времени выполнения всей задачи в целом. Это может быть сделано с помощью предварительного размещениия подпрограмм на процессорные модули МС, вызывающее уменьшение времени выполнения и как следствие повышение ее производительности.

На содержательном уровне задача размещения может быть представлена как выбор такого варианта распределения подпрограмм между процессорными модулями, которому будет соответствовать минимальное время выполнения всей задачи в целом.

Подмножество взаимодействующих подпрограмм описывается графом взаимодействия задач G=<X,E>, где $X = \begin{Bmatrix} x_{1.1} & x_{1.2} & \dots & x_{1.k} & \dots & x_{1.n} \\ x_{2.1} & x_{2.2} & \dots & x_{2.k} & \dots & x_{2.n} \\ \dots & & & & & \\ x_{q.1} & x_{q.1} & \dots & x_{q.k} & \dots & x_{q.n} \\ \dots & & & & & \\ x_{n.1} & x_{n.2} & \dots & x_{n.k} & \dots & x_{n.n} \end{Bmatrix}$ – множество вершин графа G, вершины $x_i \in X$ которого соответствуют подпрограммам, а взвешенные дуги $e_{ij} \in E$ – связям между ними задают объемы данных m_{ij} (в байтах) преда-

ваемых при обмене между подпрограммами. Граф G представляется матрицей смежности: $M = \|m_{ij}\|$, где m_{ij} – вес дуги e_{ij}.

Мультипроцессорная система представляется графом H=<P,V>, где $P = \begin{Bmatrix} p_{1,1} & p_{1,2} & \cdots & p_{1,n} \\ p_{2,1} & p_{2,2} & \cdots & p_{2,n} \\ \cdots & & & \\ p_{n,1} & p_{n,2} & \cdots & p_{n,n} \end{Bmatrix}$ – множество идентификаторов процессорных модулей, организованных в матрицу $|P|_{n\times n}$, где мощность $|P| = N = n^2$ - число процессорных модулей системы; V – множество межмодульных связей, задаваемых матрицей смежности $\|M\|_{N\times N}$ размером $n^2 \times n^2$.

Размещение пакета программ (комплекса задач), описываемых графом G может быть аналитически описано отображением

$$\beta_s = \begin{Bmatrix} x_{S_{1.1}} & x_{S_{1.2}} & \cdots & x_{S_{1.k}} & \cdots & x_{S_{1.n}} \\ x_{S_{2.1}} & x_{S_{2.2}} & \cdots & x_{S_{2.k}} & \cdots & x_{S_{2.n}} \\ \cdots & & & & & \\ x_{S_{q.1}} & x_{S_{q.1}} & \cdots & x_{S_{q.k}} & \cdots & x_{S_{q.n}} \\ \cdots & & & & & \\ x_{S_{n.1}} & x_{S_{n.2}} & \cdots & x_{S_{n.k}} & \cdots & x_{S_{n.n}} \end{Bmatrix} \rightarrow \begin{Bmatrix} p_{1,1} & p_{1,2} & \cdots & p_{1,k} & \cdots & p_{1,n} \\ p_{2,1} & p_{2,2} & \cdots & p_{2,k} & \cdots & p_{2,n} \\ \cdots & & & & & \\ p_{q,1} & p_{q,2} & \cdots & p_{q,k} & \cdots & p_{q,n} \\ \cdots & & & & & \\ p_{n,1} & p_{n,2} & \cdots & p_{n,k} & \cdots & p_{n,n} \end{Bmatrix}, \quad (1)$$

где $s = \overline{1, N!}$, $k = \overline{1, n}$, $q = \overline{1, n}$.

Здесь s – это номер очередной перестановки, соответствующий s-му варианту размещения. Мощность множества $\psi = \{\beta_S\}$ всевозможных отображений (1) равна числу всевозможных перестановок подпрограмм $\{x_{qk}\}$ в матрице X : $|\psi| = N!$. Введем также матрицу расстояний $D = \| d_{ij} \|_{N\times N}$, $N = n^2 = |H|$, символ "$\rightarrow$" означает отображение подпрограммы $x_{S_{n.n}}$ на процессор $p_{n,n}$.

Для поиска варианта размещения первоначально необходимо вычислить недостижимую минимальную оценку интенсивности размещения T_{inf} при допущении, что топологии исходного графа G и графа связей H между модулями тождественны. При вычислении нижней оценки будем назначать дуги графа G с наибольшим весом на самые короткие маршруты в графе H, не обращая внимания на ограничения, накладываемые фактическими связями между задачами в графе G [3].

Тогда процедуру поиска минимальной нижней оценки интенсивности размещения можно представить в виде алгоритма:

Переписать элементы $d_{kl} \neq 0$ матрицы D в вектор-строку $D' = \|d^z_{kl}\|$ так, что $d^{z_1}_{k'l'} \leq d^{z_2}_{k''l''} \Leftrightarrow z_1 > z_2$, где z_1 и z_2 – порядковые номера элементов в D'.

Переписать элементы $m_{ij} \neq 0$ матрицы M в вектор-строку $M' = \|m^z_{ij}\|$ так, что $m^{z_1}_{i'j'} \geq m^{z_2}_{i''j''} \Leftrightarrow z_1 > z_2$, где z_1 и z_2 – порядковые номера элементов в M'.

Положить:

$$T_{\inf} = \max\{ m^z d^z \}, \quad (2)$$

где $z = \overline{1,|E|}$, а $|E|$ – мощность множества E, равная количеству дуг в графе G, содержащем не больше, чем $N^2 - N$ связей; N – число подпрограмм; m^z, d^z – одноименные элементы векторов M' и D' с одинаковыми порядковыми номерами от начала названных выше вектор-строк.

В связи с применением критических систем (системы, слежения, наведения, прицеливания и т.д.) предлагается реализовывать предложенные алгоритмы в виде специализированных устройств планирования размещения подпрограмм в мультипроцессорных системах.

В [4] предлагается устройство для поиска минимального значения интенсивности размещения вычисляется кубических системах при направленной передаче информации. Как было сказано выше, вычисляется значение критерия (2) и передается на ВУУ.

В [5] предлагается устройство для оптимальности размещения в многопроцессорных кубических циклических системах.

Кубическая система математически описывается аналогично сказанному выше. Для математического описания циклического фрагмента кубической системы (фиг. 1б) введем матрицу смежности $\mathrm{W2} = \left\| \mathrm{w2_{ij}} \right\|_{\alpha \mathrm{Ч} \alpha}$, где $\alpha = 3$; $\mathrm{w2_{ij}}$ – объем передаваемых данных между *i*-м и *j*-м процессорным модулем. Топологическая модель цикла описывается матрицей расстояний $D2 = \left\| d2_{i,j} \right\|_{\alpha \times \alpha}$ для кубической системы образуются по формуле $\mathrm{d2_{i,j}} = (\mathrm{j-i}+\alpha) \bmod \alpha$.

Топология КЦС задается графом $H = \langle P_1, V \rangle$, где множество вершин P_1 соответствует процессорным модулям, а множество дуг *V* – межмодульным связям. Множество P_1 разбивается на два непересекающихся подмножества $P_1 = P \cup L$, где $P = \{ p_{ij} \}$ – множество основных процессоров, $L = \{ l_{ij} \}$ – множество циклических фрагментов кубической системы, причем фиксируется $|L| = 3$. Упорядочим множества процессоров *P* и *L* в виде матриц $\left\| p_{ij} \right\|_{n \times n}$ и $\left\| l_{ij} \right\|_{3 \times 3}$ соответственно. Множество P_1 представим объединением указанных матриц следующим образом:

$$\left\{ \begin{Bmatrix} p_{\nu.1.1} & p_{\nu.1.2} & \cdots & p_{\nu.1.n} \\ p_{\nu.2.1} & p_{\nu.2.1} & \cdots & p_{\nu.2.1} \\ \cdots & & \cdots & \\ p_{\nu.n.1} & p_{\nu.n.2} & \cdots & p_{\nu.n.n} \end{Bmatrix} \right. \quad (3)$$

$$\left. \begin{Bmatrix} p_{\nu.1.1} & p_{\nu.1.2} & p_{\nu.1.3} \\ p_{\nu.2.1} & p_{\nu.2.1} & p_{\nu.2,3} \\ p_{\nu.3.1} & p_{\nu.3,2} & p_{\nu.1.1} \end{Bmatrix} \right\}$$

Размещение множества взаимосвязанных подпрограмм, описываемого графом X, в многопроцессорных кубических циклических системах задается отображением

$$\beta : X \to P_1, \quad (4)$$

которое ставит в соответствие каждой подпрограмме один из процессоров (основной либо процессор циклического фрагмента КЦС).

Пусть Υ – множество всевозможных отображений вида (2). Тогда задача размещения программ в мультикомпьютере будет заключаться в выборе такого отображения $\beta_s \in \Upsilon$, которое соответствует следующему критерию:

$$\varsigma_s = \min_{\beta \in \Upsilon} \left\{ \max_{i=\overline{1,N},\, j=\overline{1,N}} \left\{ d_{ij} \cdot m_{ij} \right\} \right\}, \tag{5}$$

где максимум в фигурных скобках представляет собой наибольшую частную коммуникационную задержку для заданного отображения β.

Предлагаемые специализированные устройства планирования размещения подпрограмм предлагается применять так, как показано на рисунке 2.

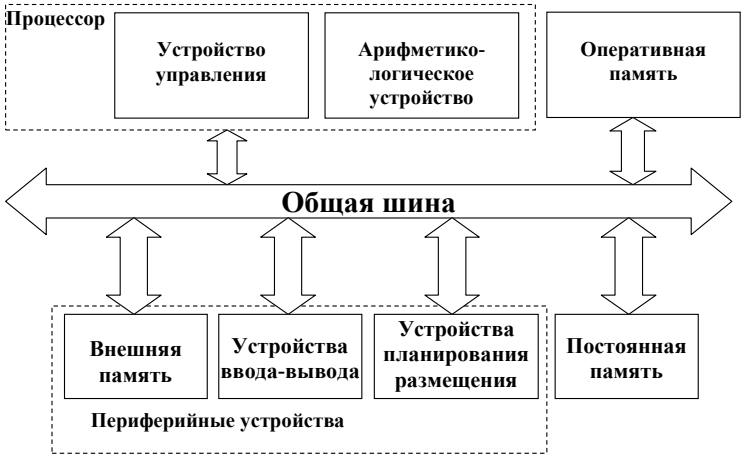


Рис. 2. Структурная схема мультипроцессорной системы

Разработанные методы и алгоритмы (рис. 2) предлагается реализовывать как специализированные аппаратные средства, выполняющие задач планирования размещения/планирования мультипроцессоров. Предлагаемые устройства подключаются через параллельную шину мультипроцессорной системы на ВУУ. После выполнения задачи, результат (например, вариант размещения) через параллельную шину поступает в процессор для принятия решения о дальнейших действиях мультипроцессорной системы.

В дальнейших исследованиях планируется продолжение подобных исследований, направленных на минимизацию участия человека в рутинных и монотонных операциях по планированию размещения и переразмещения подпрограмм в мультипроцессорной технике, привлекая для этого узкоспециализированную технику.

Список литературы: 1. В. В. Воеводин, Вл. В. Воеводин. Параллельные вычисления. БХВ-Петербург 2004 г. **2.** Gottlieb A., Schawarts J.T. Networks and algorithms for very-large-scale parallel computation // Computer. – 1982. – Vol. 15, №1. – PP. 27–36. **3.** The cube-connected connected cycles: a versatile network for parallel computation // Commun. Of ACM. – 1981. – Vol. 24, №5. – PP. 300–309. **3.** Борзов Д.Б., Аль–Марят Б.И., Масолов А.С. Метод снижения коммуникационной задержки путем субоптимального размещения задач в матричных базовых блоках кластера // Телекоммуникации. – Ежемесячный научно-технический, информационно–аналитический и учебно-методический журнал. – 2008, – №4. С. 21-25. **4.** Борзов Д.Б. Устройство для поиска минимального значения интенсивности размещения вычисляется кубических системах при направленной передаче информации, заявка на патент РФ №2017144117 от 15.12.2017. **5.** Борзов Д.Б. Устройство для оптимальности размещения в многопроцессорных кубических циклических системах, заявка на патент РФ № 2017144109.

ТЕНДЕНЦИИ В ИНЖЕНЕРНОМ ОБРАЗОВАНИИ

Бохонский А.И., Варминская Н.И. *(СевГУ, г. Севастополь, Россия)*
bohon.alex@mail.ru nvarminska@gmail.com

Abstract: *Attention is drawn to the role of general engineering disciplines in the formation of technical specialists*
Key word: *level of education, tracition and modernity, the quality of education, necessary and sufficient conditions.*

Без идеалов … желаний лучшего, никогда не может получиться хорошей действительности.

Ф.М. Достоевский

Как известно, одной из главных традиционных целей образования является развитие интеллекта (intelligo – понимаю) при помощи фундаментальных и прикладных дисциплин, а в настоящее время цель можно несколько уточнить – развитие прагматического интеллекта.

К реформам образования следует относиться с большой осторожностью. Должны оставаться незыблемыми многолетние хорошие традиции, как инварианты, отражающие необходимые и достаточные условия сохранения и преумножения перспективы повышения качества учебного процесса.

Здесь уместно кратко ответить на несколько актуальных вопросов.

Кого учить? Того, в ком не исключается пробуждение желания учиться!

Чему учить? Самый трудный вопрос. Учить всему тому, что сделает обучаемых полезными себе и обществу.

Кому учить? Учит тот, кто умеет сам непрерывно учиться.

Как учить? Если кратко, то все средства хороши, кроме скучного; например, известные законы должны заново открывать на занятиях.

Развитие интеллекта предполагает решение задач по физике, математике, информатике, теоретической и прикладной механике, по другим общеинженерным дисциплинам, иначе в обозримом будущем за иллюзии неизбежно придется расплачиваться действительностью!

Чрезвычайно жесткое следование пропорции между числом преподавателей и числом студентов на практике порой порождает тенденцию «либерализации» в оценке знаний студентов…

Добрые традиции преподавания фундаментальных дисциплин общеизвестны: от теории возникновения знаний через доказательства теорем к их непосредственному приложению к актуальным задачах техники.

Хребтом системы инженерно-технического образования всегда была межпредметная связь фундаментальных и специальных дисциплин. Уместно привести замечание математика Н. Винера: «Деление науки на различные дисциплины – не более чем административная условность». Всякое сокращение часов по фундаментальным дисциплинам должно глубоко обосновываться с учетом вероятных последствий.

Безусловно, что в современных условиях преподаватели должны сосредоточить внимание на развитии творческих способностей самых одаренных студентов. Однажды профессору Цюрихского университета был задан вопрос: «The extremely seldom appearance of new ideas is the negative aspect of any educational system. Do you agree?». Он ответил: «Необходимо прежде всего работать со способной молодежью, нужна жесткая обратная связь в оценке знаний студентов (половина студентов отчисляется после первого курса или даже первого семестра)…»

Многолетний опыт и некоторые современные особенности преподавания курсов теоретической механики и сопротивления материалов нашли отражение в работах [1 – 7].

Увлечь способного студента интересной задачей – способ привлечения к творческой деятельности, к работе на пределе его и своих возможностей!

Выводы

1. Упрощение курсов по фундаментальным дисциплинам или даже их ликвидация неизбежно приведет к утрате профессиональной перспективы для одаренных студентов.

2. Актуален поиск эффективных индивидуальных средств воздействия на каждого студента (с учетом подготовки по математике и физике за среднюю школу и … насыщенного информационного *поля соблазнов).*

3. Не следует забывать иллюстрировать на примерах из современной техники взаимодействие различных научных дисциплин при моделировании технических систем и обращать особое внимание на печальные последствия аварий, основанных на … техническом невежестве. Инженерная деятельность в огромной степени связана с умением видеть реальные задачи, упорно искать и находить их решение с привлечением математики, принципов и теорем теоретической и прикладной механики, многих других наук.

В истории науки известно много весьма поучительных примеров, когда в студенческие годы выполнялись серьезные научные исследования. Поэтому студенты безусловно должны привлекаться к исследованиям уже с первого курса. В романтике научного поиска заключена облагораживающая сила. Как писал К. Паустовский, “романтическая настроенность не позволяет человеку быть лживым, трусливым и жестоким”.

4. Даже при весьма и весьма скромном финансировании можно превзойти любую систему образования за счет развития у студентов воображения, фантазии, способности воспринимать новые идеи, привития любви к поиску решений актуальных задач современной техники.

Только творчески одержимый и увлеченный исследователь может зажечь факел поиска истины в душах студентов!

Список литературы: 1. Бохонский А.И., Первухина Е.Л. Роль инженерных дисциплин в высшей школе: традиции и современность // Вестник СевГТУ. Педагогика. Вып. 64. Севастополь: Изд-во СевГТУ, 2005. – С. 14 – 21. **2.** Бохонский А.И. Идеи в инженерном творчестве и учебном процессе // Сборник научных работ ВМУ им. П.С.Нахимова. Вып. 1(9). Севастополь: ВМУ им. П.С.Нахимова, 2006. – С. 232 – 236. **3.** Бохонский А.И. Теоретическая и прикладная механика в инженерном образовании (традиции и современность) // Управление качеством в образовании и промышленности: Сб. статей Всерос.науч.-практ.конф. 17-19 мая 2017г. Севастополь, 2017. – 290 с. **4.** Бохонский А.И., Варминская Н.И., Шмидт Л.А. Проектировочный расчет на устойчивость сжатого стержня. Севастополь: Изд-во СевНТУ, 2009. – 20 с**. 5.** Варминская Н.И. Математика в курсе теоретической механики. Севастополь: Истар-7, 2012. – 28 с. **6.** Бохонский А.И., Варминская Н.И., Шмидт Л.А. Математика в курсе сопротивления материалов. Севастополь: Истар-7, 2013. – 28 с. **7.** Бохонский А.И., Первухина Е.Л. Методические рекомендации по выбору темы НИРС по теоретической механике и механике деформируемого твердого тела (с приложениями к специальности). Севастополь: КМУ СПИ, 1990. – 28 с.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ПРИМЕНЕНИЯ ЯДРА РАБОТНОВА ПРИ ОПИСАНИИ РЕЛАКСАЦИОННЫХ ДИССИПАТИВНЫХ ПРОЦЕССОВ

Бугаев Н.М., Горшков А.А., Коровайцева Е.А., Ломовской В.А., Ломовская Н.Ю.
(МАИ, РТУ МИРЭА, НИИ механики МГУ, ИФХЭ РАН, г. Москва, Россия)
E-mail: ag60341@gmail.com

Abstract: *Opportunity of Rabotnov kernel using in Boltzmann-Volterra integral equation for the description of relaxation dissipative processes observed on internal friction spectra obtained at dynamic regimes of external action is considered.*
Key words: *Relaxation, internal friction, dissipation, Rabotnov kernel, Laplace transformation.*

При описании вязкоупругих явлений, в частности, ползучести в металлических системах в статических режимах внешнего деформирующего воздействия часто применяется в уравнении наследственной вязкоупругости Больцмана-Вольтерра в качестве ядра ретардации функция Работнова. В данном режиме применение этой функции даёт удовлетворительные результаты. Однако, в динамических режимах внешнего деформирующего воздействия с различными частотами колебательных процессов, возбуждаемых в образцах исследуемых материалов, требуется выполнение ряда формальных условий для удовлетворительного использования этой функции в описании релаксационных диссипативных процессов, экспериментально наблюдаемых на спектрах внутреннего трения.

Рассматриваемое ядро имеет вид ряда:

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

Для определения интервала сходимости рассматривается предел (с учетом обозначений):

$$U_n=\frac{(-1)^n\left(t/\tau\right)^{\gamma n}}{\Gamma\left[\gamma(n+1)\right]};$$

$$U_{n+1}=\frac{(-1)^{n+1}\left(t/\tau\right)^{\gamma(n+1)}}{\Gamma\left[\gamma(n+2)\right]}$$

$$\lim_{n\to\infty}\left|\frac{U_{n+1}}{U_n}\right|=\lim_{n\to\infty}\left|\frac{\left(t/\tau\right)^{\gamma(n+1)}\cdot\Gamma\left[\gamma(n+1)\right]}{\Gamma\left[\gamma(n+2)\right]\cdot\left(t/\tau\right)^{\gamma n}}\right|=\lim_{n\to\infty}\left(\frac{t}{\tau}\right)^{\gamma}\frac{\Gamma\left[\gamma(n+1)\right]}{\Gamma\left[\gamma(n+2)\right]}= \tag{2}$$

$$=\left(\frac{t}{\tau}\right)^{\gamma}\lim_{n\to\infty}\frac{\Gamma\left[\gamma(n+1)\right]}{\Gamma\left[\gamma(n+2)\right]}=\left(\frac{t}{\tau}\right)^{\gamma}<1$$

Из этого следует, что ряд (2) сходится при малых временах, т.к. $\left(\frac{t}{\tau}\right)<1$, т.е. $t<\tau$. Однако, в соотношении (1) перед знаком суммы имеется множитель $\frac{1}{t}$, за счет которого при $t\to\infty$ ряд $\varphi(t)$ расходится $\varphi(t)\to\infty$.

Для получения преобразования Лапласа от ядра Работнова последнее можно представить в виде:

$$\varphi(t)=\sum_{n=0}^{\infty}(-1)^n\frac{t^{\gamma(n+1)-1}}{\tau^{\gamma(n+1)}\cdot\Gamma\left[\gamma(n+1)\right]}$$

В этом случае:

$$\varphi(p)=\Lambda\left[\psi(t)\right]=\sum_{n=0}^{\infty}(-1)^n\frac{\Lambda\left[t^{\gamma(n+1)-1}\right]}{\tau^{\gamma(n+1)}\cdot\Gamma\left[\gamma(n+1)\right]}=\sum_{n=0}^{\infty}(-1)^n\frac{\Gamma\left[\gamma(n+1)\right]}{\tau^{\gamma(n+1)}\cdot\Gamma\left[\gamma(n+1)\right]\cdot p^{\gamma(n+1)}}=$$

$$=\sum_{n=0}^{\infty}\frac{(-1)^n}{\tau^{\gamma(n+1)}\cdot p^{\gamma(n+1)}}=\sum_{n=0}^{\infty}\frac{(-1)^n}{(p\tau)^{\gamma(n+1)}}$$

Этот ряд сходится вне круга $|p|>\frac{1}{\tau}$. Область сходимости данного ряда определена в виде:

$$\bar{\varphi}(p)=\frac{1}{1+(p\tau)^{\gamma}};\quad |p\tau|>1 \tag{3}$$

В полученном соотношении не сходится размерность, т.к. изображение $\bar{\varphi}(p)$ должно иметь размерность времени, что следует из интеграла Лапласа. Данная ошибка определяется размерностью ядра Работнова (1). Ядро (функция релаксации) должно быть безразмерным, а в соотношении (1) имеется размерность $\left[c^{-1}\right]$. Для исправления этой ошибки, по-видимому, ядро Работнова должно иметь вид:

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

$$\text{тогда}\quad \bar{\varphi}(p)=\frac{\tau}{1+(p\tau)^{\gamma}}=\tau\sum_{n=0}^{\infty}\frac{(-1)^n}{(p\tau)^{\gamma(n+1)}} \tag{4}$$

Для определения возможности применения ядра Работнова при описании процессов релаксации в исследуемых системах по спектрам внутреннего трения необходимо проверить это ядро и его изображения на условия асимптотической сходимости.

$$\lim_{p\to 0}p\bar{\varphi}_p(p)=\lim_{p\to 0}\frac{p\tau}{1+(p\tau)^{\gamma}}=0,$$

т.е. $\lim\limits_{t\to\infty}\varphi_p(t)=0$ - данное условие сходимости для ядра Работнова выполняется.

$$\lim_{p\to\infty}p\bar{\varphi}_p(p)=\lim_{p\to\infty}\frac{p\tau}{1+(p\tau)^{\gamma}}=\lim_{z\to\infty}\frac{z}{1+z^{\gamma}}=\lim_{z\to\infty}\frac{1}{\gamma z^{\gamma-1}}=$$

$$=\frac{1}{\gamma}\lim_{z\to\infty}\frac{1}{z^{\gamma-1}}=\begin{cases}0, \textit{при } \gamma>1\\ \infty, \textit{при } \gamma<1\end{cases}\Rightarrow\lim_{t\to 0}\varphi(t)=\begin{cases}0, \textit{при } \gamma>1\\ \infty, \textit{при } \gamma<1\end{cases}$$

- данное условие сходимости для ядра Работнова не выполняется, поэтому функция Работнова не может удовлетворительно описывать релаксационные явления, наблюдаемые при динамических режимах внешнего деформирующего воздействия на спектрах внутреннего трения.

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

О ПРИМЕНЕНИИ ПРУЖИН СЖАТИЯ С ПРОГРЕССИВНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКОЙ В КАЧЕСТВЕ КОНСТРУКТИВНОЙ БАЗЫ УПРУГОЙ СИСТЕМЫ ВИБРОМАШИН

Букин С. Л., Беловодский В. Н.
(Донецкий национальный технический университет, ДНР)
Тел./Факс: +38 (062) 3010747; *E-mail:* s.bukin08@gmail.com

Abstract: *The article analyzes the main types of steel compression springs with nonlinear characteristics. Among the known springs of this type, the most simple in manufacturing are twisted steel conical springs. It is established that they have an essentially nonlinear elastic characteristic, due to which they can be used in the composition of machines with excitation sub- and super harmonic oscillations. Calculation formulas are given for determining the power and geometric characteristics of conical springs.*
Key words: *vibrating machine, moving masses, basic coupling, elastic element, nonlinear characteristic, conical springs.*

1. Введение

В составе структурных схем вибрационных машин различного технологического назначения обязательными элементами являются упругие элементы, которые по назначению разделяют на следующие группы:

- упругие элементы, образующие основную упругую связь подвижных масс в многомассовых машинах;
- упругие элементы в составе системы виброизоляции машины;
- упругие элементы в составе трансмиссии привода вибровозбудителя машины.

Следует отметить, что разработка простых и надёжных вибрационных машин новых структурных схем, имеющих повышенную технологическую эффективность, является актуальной научной и практической задачей для многих отраслей промышленности. В последние годы внимание исследователей многих стран мира привлекает интенсификация технологических процессов переработки сырья на машинах вибрационного типа путем возбуждения суб- и супергармонических резонансов в нелинейных колебательных системах [1-3]. Одной из основных проблем, препятствующих широкому распространению таких машин, являются вопросы создания и использования упругих элементов с заданной нелинейностью.

Упругие элементы применяются в самых различных конструкциях машин и механизмов как “аккумуляторы” потенциальной энергии, например, в амортизирующих, возвратно-подающих и во многих других механических устройствах. Упругие элементы занимают «незаметное» место в конструкции машин, однако именно они зачастую определяют долговечность, безотказность и надёжность их работы [4].

Вопросы, возникающие в процессе разработки, освоения и внедрения новых конструкций упругих элементов суб- и супергармонических вибрационных машин, кроме обеспечения требуемых грузовых и геометрических характеристик изделия должны обеспечивать требуемую упругую характеристику. На наш взгляд, именно этим вопросам в предыдущие годы уделялось недостаточно внимания. Настоящая статья открывает комплекс исследований нелинейных упругих элементов для их обоснованного выбора из номенклатуры серийно выпускаемых или задания характеристик для вновь проектируемых.

В настоящее время в качестве упругих элементов вибромашин применяются [5]:

- стальные пружины (цилиндрические, фасонные, тарельчатые, прорезные и др.);
- резинометаллические элементы (сдвига, кручения, растяжения-сжатия и др.);
- элементы из эластомеров;

- пневмобаллоны;
- рессорные системы;
- торсионные элементы;
- комбинированные.

Наиболее простым упругим элементом, применяемым в конструкциях вибромашин, является пружина. Стальные цилиндрические пружины сжатия многие годы традиционно используются в качестве опорных виброизоляторов, а также в составе основной связи подвижных масс. В отличие от упругих элементов из эластомеров они обеспечивают высокую стабильность параметров в течение длительного периода работы. Такие пружины имеют практически линейную упругую характеристику и с их помощью формируют основные связи многомассовых линейных колебательных систем, например, в вибромашинах корпораций «General Kinematics Co.» (США), «Henan Wantai Machinery Co., Ltd.» (КНР) и ряда других.

Заметный прогресс в настоящее время наблюдается в области разработки и производства упругих элементов, входящих в состав подвесок современных автомобилей. Значительный рост их применения вызван стремлением повышения эффективности их работы. Обоснована перспективность использования пружин с так называемой прогрессивной характеристикой жёсткости. В таких пружинах при статическом состоянии подвески усилие воспринимают все витки, обеспечивая заданную геометрией жёсткость. Однако с ростом нагрузки происходит замыкание витков с меньшим шагом, в результате чего уменьшается число оставшихся витков и жёсткость пружины увеличивается. Причём, в отличие от цилиндрической пружины сжатия с линейной упругой характеристикой в пружине с прогрессивной характеристикой сила сжатия распределяется поэтапно: после сжатия мягких витков в работу вступают более жёсткие [6].

Следует отметить, что в настоящее время отсутствует обобщенная методическая база расчета таких пружин, необходимая для обоснования их выбора в качестве нелинейных упругих элементом в перспективных вибромашин с возбуждением суб- и супергармонических резонансов рабочих органов. Прежде всего, необходимо учитывать важную особенность эксплуатации пружин в составе упругих элементов основной связи подвижных масс вибрационных машин: пружины должны воспринимать силу тяжести рабочей массы, при этом обеспечивая заданную нелинейность упругой характеристики в области рабочих амплитуд. Причём требования к «прецизионности» упругих характеристик повышаются при снижении величин амплитуд колебаний и реализации высокочастотных полигармонических режимов.

По этим причинам исследования нелинейных упругих элементов для целенаправленного их использования в конструкциях современных многомассовых вибромашин несомненно являются актуальными.

Целью исследований является изучение возможности применения стальных пружин с нелинейной характеристикой в конструкциях вибрационных машин нового типа, определение области их применения.

2. Основное содержание и результаты работы

Нелинейную характеристику имеют следующие типы стальных пружин (рис. 1): цилиндрические пружины с переменным шагом навивки витков или неравномерным диаметром сечения витка по длине пружины, а также фасонные пружины.

Фасонные пружины обычно выполняют в виде пружин сжатия и они имеют, как правило, параболоидную или коническую форму [7].

К фасонным (фигурным) пружинам относят:

- конические (конусные) пружины сжатия с постоянным или переменным шагом;
- пружины с бочкообразной и седлообразной формой витков;

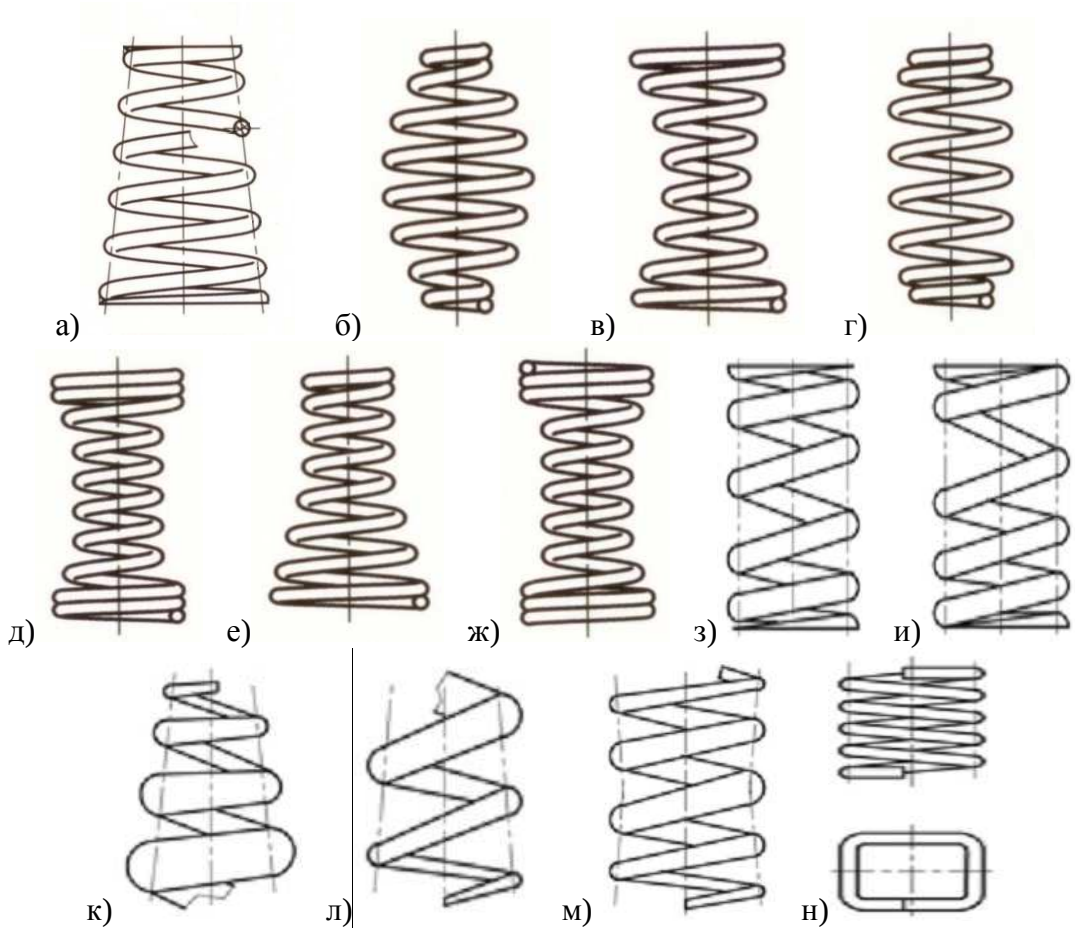


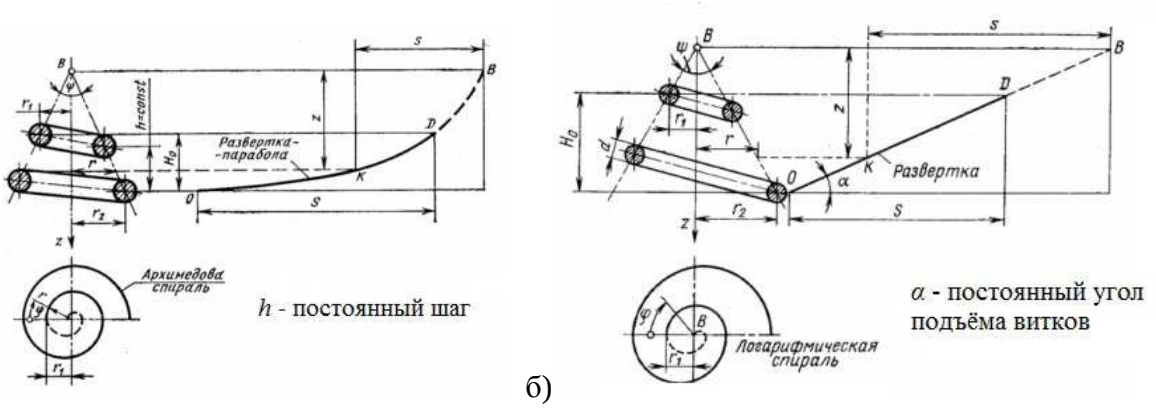
Рис. 1. Пружины с нелинейной упругой характеристикой:
а – коническая; б - с бочкообразной формой витков; в - с седлообразной формой витков; г - цилиндрическая с уменьшенным диаметром опорных витков; д - цилиндрическая с увеличенным диаметром опорных витков; е - с цилиндрической и конической формой витков; ж – со сложной конфигурацией формы витков; з, и - цилиндрическая с неравномерным шагом витков; к, л, м – фасонные с неравномерным диаметром витков; н – прямоугольная

- пружины цилиндрические с уменьшенным или увеличенным диаметром опорных витков;
- двухконусные пружины;
- пружины со сложной конфигурацией формы витков.

Фасонные пружины обладают большей устойчивостью к продольному изгибу по сравнению с цилиндрическими.

Преимущественное распространение получили конические пружины, изготовление которых проще, чем фасонных пружин других разновидностей [8]. При полном сжатии конические пружины образовывают плоскую спираль (рис. 2): чаще всего, - архимедову с постоянным шагом витков (t=const), реже – логарифмическую, в которой витки пружины имеют постоянный угол подъёма (α=const) [4], величина которого обычно не превышает 6...8^{o}. Пружины, навитые по архимедовой спирали, сохраняют в плане между проекциями витков равные просветы. Из всех фасонных пружин конические пружины имеют самую малую длину в полностью сжатом состоянии, величина которой близка к диаметру проволоки (прутка). Но это достоинство, значимое для уп-

ругих элементов, ограниченных габаритами, не является существенным для упругих элементов вибрационных машин промышленного назначения.



а) б)

Рис. 2. Конические пружины, имеющие в плане архимедову (а) и логарифмическую (б) спирали

Рассмотрим особенности формирования упругих характеристик фасонных пружин на примере конической витой пружины, основные параметры которой приведены на рис. 3: d - диаметр проволоки (прутка); D_1 (r_1) – наименьший средний диаметр (радиус) рабочей части витков; D_2 (r_2) - наибольший средний диаметр (радиус) рабочей части витков; t - шаг; n_a - число рабочих (активных) витков; n_0 - полное число витков; α - угол подъёма витков; L_0 – общая длина пружины; L_a – длина рабочих витков; L_b– длина пружины, при которой начинается посадка витков; L_c – длина полностью сжатой пружины (без учёта заделки). Кроме проволоки (прутка) круглого профиля для изготовления пружин применяется проволока (пруток) прямоугольного сечения с размерами: b - ширина сечения проволоки, h - её высота.

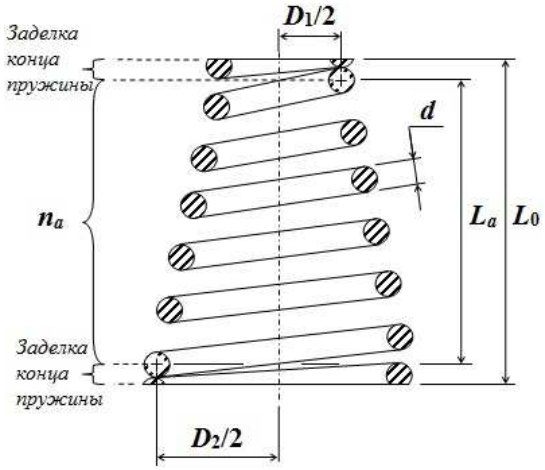


Рис. 3. Геометрические параметры конической пружины

Витки фасонных пружин в связи с различным радиусом имеют и различную жёсткость, а это обуславливает и нелинейность упругих характеристик таких пружин (рис.4). Дело в том, что при возрастании нагрузки происходит последовательная посадка витков большого радиуса одного на другой (пружины с логарифмической спиралью) или на опорную поверхность (пружины с архимедовой спиралью) [8], в результате чего витки перестают деформироваться, а оставшаяся часть пружины становится более жёсткой.

Расчёт фасонных пружин может быть осуществлён с помощью различных приложений к САПР. Специализированные системы, автоматизирующие отдельные элементы проектной деятельности, получают все большее распространение среди пользователей современных САПР. В настоящее время целый ряд таких систем имеют возможность осуществлять проектный и проверочный расчёты фасонных пружин растяжения-сжатия (КОМПАС-SPRING, HEXAGON FED 5, AutoCAD-Spring, BricsCAD-Spring, APM Spring, KISSsoft и др.).

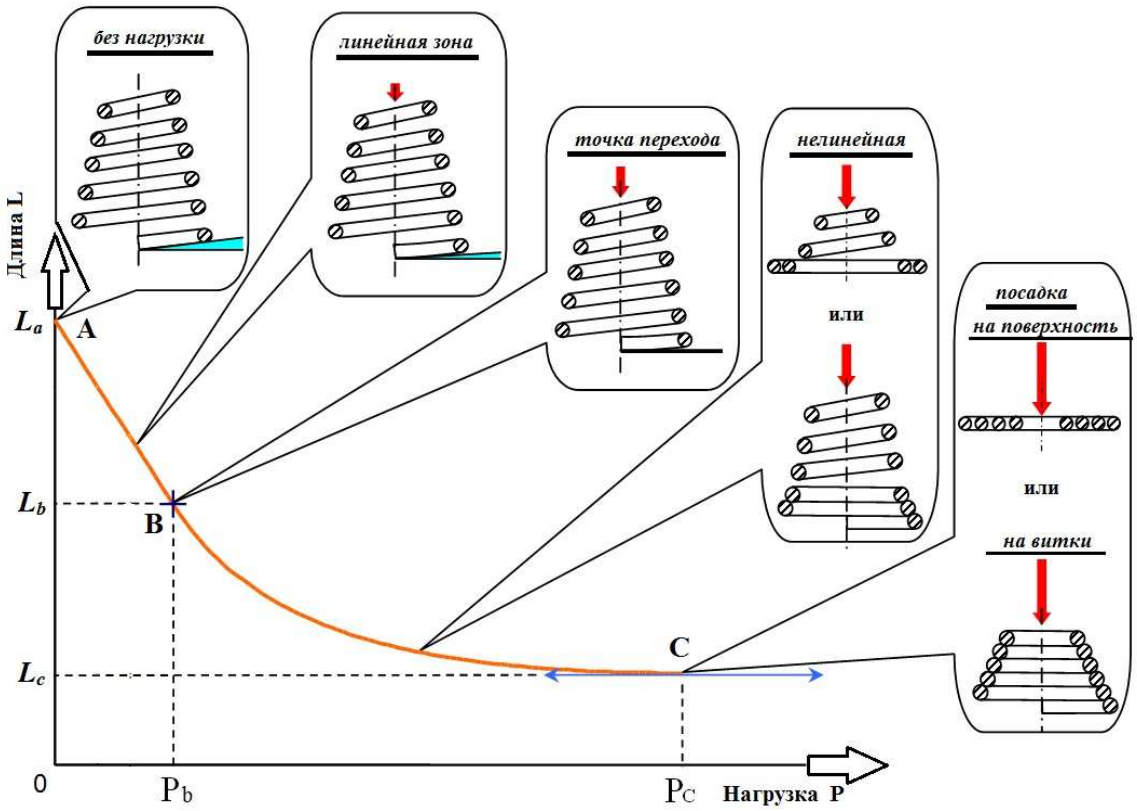


Рис. 4. Основные зоны нагружения конической пружины

Относительно недавно пользователи популярной системы автоматизированного проектирования T-FLEX CAD российской компании «Топ Системы» получили в свое распоряжение новую версию специализированной системы автоматизированного проектирования упругих элементов - T-FLEX/Пружины 3D 3.0 [9]. Основное назначение системы состоит в автоматизации расчета параметров конструкции и в подготовке соответствующей конструкторской документации используемых в машиностроении упругих элементов.

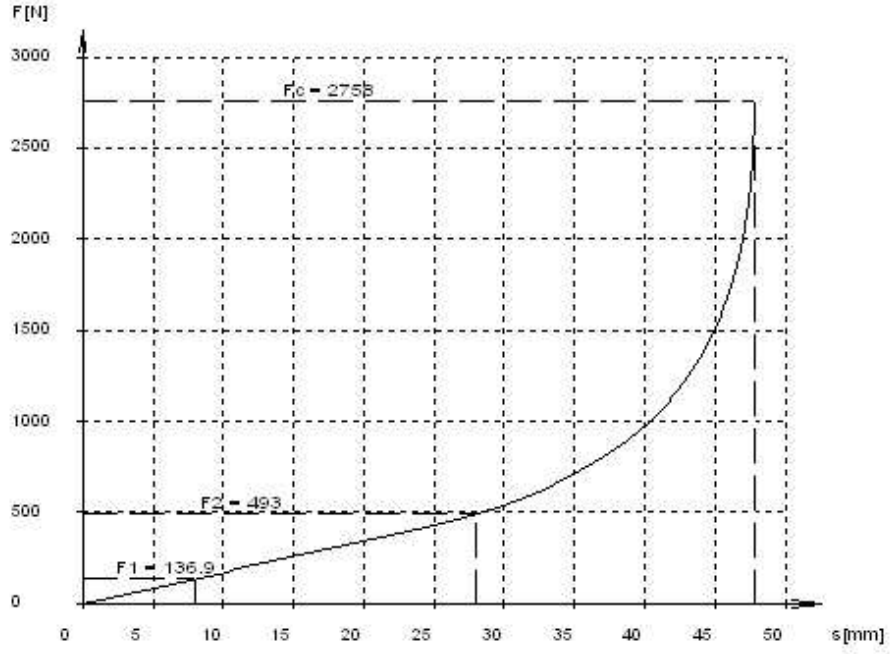


Рис. 5. Характеристика «сила-деформация» конической пружины

В качестве иллюстрации приведем пример формирования нелинейной характеристики конической пружины с логарифмической навивкой (α=20°), которая характеризуется следующими параметрами: d = 4,5 мм; D_1 = 21 мм; D_2 = 40 мм;

n_a = 7; n_0 = 9; L_0 = 78 мм. Используя программу проектирования пружин FED 5 [10], была построена диаграмма сила-деформация, приведенная на рис. 5.

В характерных точках (см. рис. 4) коэффициент жёсткости рассматриваемой пружины составил $k_a = k_1$ = 17,11 Н/мм, k_2 = 23,37 Н/мм, k_c = 30961 Н/мм, деформация пружины s_1 = 8 мм, s_b = 23,33 мм, s_2 = 28 мм, s_c = 47,78 мм и, соответственно, длина пружины L_1 = 70 мм, L_2 = 50 мм, L_c = 30,22 м.

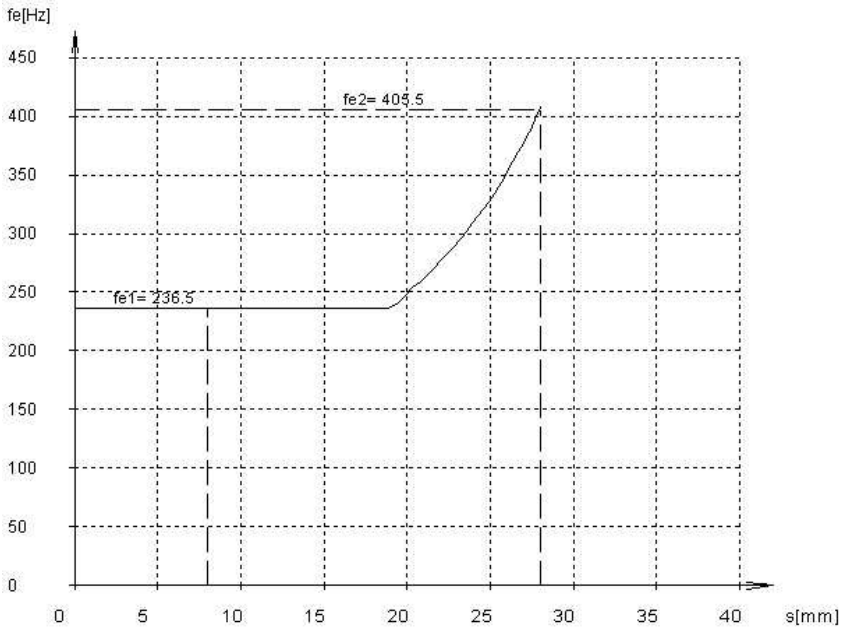


Рис. 6. График зависимости частоты собственных колебаний конической пружины от её деформации

Очевидно, что нелинейный характер упругой характеристики пружины вызывает и нелинейную зависимость частоты её собственных колебаний от деформации (рис. 6). По этим причинам естественной при проектировании является проверка пружины на близость её собственной частоты к частоте вынужденных колебаний вибромашины. Такой анализ может быть выполнен с помощью программы проектирования пружин FED 5 [10]. Для предварительной оценки основных характеристик конической пружины могут быть использованы и аналитические зависимости (табл. 1), которые содержатся в ряде источников, например, [11].

Обратим внимание на некоторые особенности применения упругих нелинейных элементов. Коническая пружина сжатия должна быть предварительно поджата на такую величину, чтобы её рабочая деформация осуществлялась на нелинейной области упругой характеристики (рис. 7) [12]. Кроме того, величину продольной жёсткости конической пружины можно также регулировать путём изменения величины поджатия.

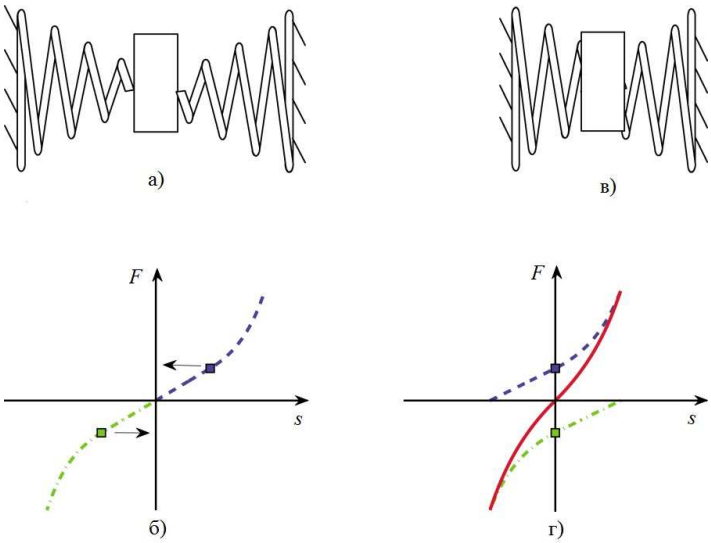


Рис. 7. Характеристики «сила-деформация» блока, состоящего из двух пружин: а, б – до поджатия; в, г – после поджатия

Таблица 1. Основные аналитические зависимости между силовыми и геометрическими параметрами конических пружин

Пружины из проволоки круглого сечения	Пружины из прямоугольной проволоки
$F_c = \frac{(L_0 - L_s)\cdot G \cdot d^4}{8 \cdot n_a \cdot D_2^3}$	$F_c = \frac{(L_0 - L_s)\cdot G \cdot b^2 \cdot h^2}{\varepsilon \cdot n_a \cdot D_2^3}$
I. Рабочая область с линейной характеристикой ($F \le F_c$)	
$s = \frac{2 \cdot F \cdot n_a}{G \cdot d^4} \cdot DC$	$s = \frac{\varepsilon \cdot F \cdot n_a}{4 \cdot G \cdot b^2 \cdot h^2} \cdot DC$
$\tau = K_{s\min} \cdot \frac{8 \cdot F \cdot D_{\max}}{\pi \cdot d^3}$	$\tau = \frac{\psi_{\min} \cdot F \cdot D_{\max}}{b \cdot h \cdot \sqrt{b \cdot h}}$
$k = \frac{G \cdot d^4}{2 \cdot n_a \cdot DC}$	$k = \frac{4 \cdot G \cdot b^2 \cdot h^2}{\varepsilon \cdot n_a \cdot DC}$
$K_{s\min} = f\left(D_{\max}/d\right)$	$\varepsilon = f\left(b/h\right),\ \psi_{\min} = f\left(b/h, D_{\max}/b\right)$
$DC = \left(D_1^2 + D_2^2\right)\cdot\left(D_1 + D_2\right)$	
II. Рабочая область с нелинейной характеристикой ($F > F_c$)	
$s = (L_0 - L_s)\cdot DC + \frac{2 \cdot F \cdot n_x}{G \cdot d^4} \cdot DC$	$s = (L_0 - L_s)\cdot DS + \frac{\varepsilon \cdot F \cdot n_x}{4 \cdot G \cdot b^2 \cdot h^2} \cdot DC$
$\tau = K_s \cdot \frac{8 \cdot F \cdot D_x}{\pi \cdot d^3}$	$\tau = \frac{\psi \cdot F \cdot D_x}{b \cdot h \cdot \sqrt{b \cdot h}}$
$D_x = \sqrt[3]{\frac{(L_0 - L_s)\cdot G \cdot d^4}{8 \cdot n_a \cdot F}}$	$D_x = \sqrt[3]{\frac{(L_0 - L_s)\cdot G \cdot b^2 \cdot h^2}{\varepsilon \cdot n_a \cdot F}}$
$K_s = f\left(D_x/d\right)$	$\varepsilon = f\left(b/h\right),\ \psi = f\left(b/h, D_x/b\right)$
$DC = \left(D_x^2 + D_1^2\right)\cdot\left(D_x + D_1\right) \quad DS = (D_2 - D_x)/(D_2 - D_1) \quad n_x = n_a \cdot (1 - DS)$	

где: $c_{\min}$ - мин. индекс пружины ($c_{\min} = D_{\min} / d$; $c_{\min} = D_{\min} / b$); $c_{\max}$ - макс. индекс пружины ($c_{\max} = D_{\max} / d$; $c_{\max} = D_{\max} / b$); F – сила нагружения пружины; G – модуль упругости при сдвиге; k - коэффициент жёсткости пружины; τ – напряжение кручения; K_s - коэффициент коррекции кривизны; ε, ψ - коэффициент формы.

3. Заключение

Проведенный анализ стальных витых пружин показал, что:

- конические и фасонные пружины могут быть применены в качестве нелинейных упругих элементов основной связи подвижных масс вибрационных суб- и супергармонических машин, осуществляющих низкочастотные колебания рабочего органа с большой амплитудой. Они имеют линейную упругую характеристику до начала посадки витков, после чего характеристика становится нелинейной;

- характер нелинейности упругой характеристики зависит от геометрических параметров пружины, числа активных витков и выбранного материала для их изготовления;

- для обеспечения условий возбуждения суб- или супергармонических колебаний конические пружины должны быть предварительно поджаты на некоторую величину;

- по сравнению с фасонными пружинами конические витые стальные пружины значительно проще в изготовлении, что отражается на себестоимости производства и, соответственно, на цене.

Продолжение работ в данном направлении требует решения следующих задач: формирование методики расчёта конических пружин, ориентированных на применение в вибрационных машинах указанного типа и разработка соответствующего программного обеспечения; создание экспериментальной установки для лабораторных исследований нелинейных свойств упругих элементов на базе конических стальных пружин и выполнение комплекса экспериментальных исследований; разработка типоразмерного ряда упругих элементов такого типа для последующего их использования в нелинейных вибромашинах различного назначения.

Список литературы: 1. Belovodskiy, V. N. Nonlinear Antiresonance Vibrating Screen / V. N. Belovodskiy, S. L. Bukin, M. Y. Sukhorukov // Advances in Mechanisms Design. Proceedings of TMM 2012. Mechanisms and Machine Science. – Springer, 2012. – Vol. 8 – p. 167-173. **2.** 2:1 Superharmonic Resonances in Two-Masses Vibrating Mashines / V. N. Belovodskiy, S. L. Bukin, M. Y. Sukhorukov, A. A. Babakina // 11th International Conference on Vibration Problems. Lisbon, Portugal, 9-12 September 2013. **3.** Беловодский, В. Н. Возбуждение полигармонических колебаний в вибромашине с нелинейной упругой связью подвижных масс нового типа / В. Н. Беловодский, С. Л. Букин // Прогрессивные технологии и системы машиностроения: Междунар. сб. научных тр. - Донецк: ДонНТУ, 2015. Вип. 1 (51). - С.32-41. **4.** Ливотов, В. С. Технологические расчёты упругих элементов: руководящий технический материал / В. С. Ливотов, А. С. Просвиров, А. В. Напалков. Часть 1. Поверочные расчёты витых пружин и пружинных колец. – Волгоград, 2002. – 16 с. **5.** Вибрации в технике: справочник. В 6-ти т. / Т. 4. Вибрационные процессы и машины / Под ред. Э. Э. Лавендела. – Москва: Машиностроение, 1981. – 509 с. **6.** Бажанова, А. Ю. Сравнительный анализ напряженно-деформированного состояния пружин с линейной и прогрессивной упругими характеристиками / А. Ю. Бажанова // Вісник КНУТД. – 2014. – №6 (80). – С. 18-23. **7.** Прикладная механика: учебное пособие для вузов / Под ред. В. М. Осецкого. Изд. 2-е перераб.и доп. – Москва: Машиностроение, 1977. – 488 с. **8.** Paredes, M. Optimal design of conical springs / M. Paredes, E. Rodriguez // Engineering with Computers. – 2009. – Vol. 25 (2). – pp. 147-154. **9.** Сущих А., Ануфриков П. Проектирование упругих элементов в системе T-FLEX/Пружины 3D. - Режим доступа: https://sapr.ru/article/7189 (05.06.2018). **10.** FED 5. Software zur Berechnung von Kegelstumpffedern. - Режим доступа: http://www.hexagon.de/fed5_d.htm (06.06.2018). **11.** Spring calculation. – Режим доступа: http://mitcalc.com/doc/springs/help/en/springs.htm (07.06.2018). **12.** Qiu, D. Tuned Nonlinear Energy Sink with Conical Spring: Design Theory and Sensitivity Analysis / D. Qiu, S. Serguy, M. Paredes // Journal of Mechanical Design. – 2017. – Vol. 140(1). Paper No.: MD-17-1500; doi: 10.1115/1.4038304.

КОМПОНОВОЧНЫЕ РЕШЕНИЯ МНОГОНОМЕНКЛАТУРНЫХ РОТОРНЫХ ЛИНИЙ

Буленков Е. А., Лебедь Я. А. *(ДонНТУ, г. Донецк, ДНР)*
Тел./Факс: +38 (062) 3010805; E-mail: bulenkov@ukr.net

Abstract: *The problem of production facilities efficient use is requires attention at the present time. Automatic rotor lines allow efficient use of production areas; however, the known techniques for designing these lines do not take into account the specific features of their layout. Various layout solutions for multi-nomenclature rotor lines are considered in this paper. An approach to the selection of the line rational layout is described here.*
Key words: *layout, features of layout, design, design, automatic rotor line.*

Существует тенденция к сокращению выпуска продукции и увеличению разнообразия форм и размеров выпускаемой продукции [1, 2]. При этом, имеется большое количество изделий, которые отличаются только второстепенными элементами и имеют похожую технологию производства - крепеж, мебельная фурнитура и т. д. Использование гибких производственных систем для их изготовления неэффективно из-за доступности более дешевого и более производительного, переналаживаемого и однономенклатурного оборудования. В свою очередь, использование этого высокопроизводительного оборудования также становится неэффективным, поскольку большое количество товаров трудно реализовать, а небольшие партии не окупают стоимость переналадки оборудования. Решением этой проблемы может быть создание гибких производств на основе многономенклатурных роторных линий [3], позволяющих объединить группу серийных производств в многономенклатурное массовое. Следует отметить, что предлагаемые линии являются сравнительно новыми, и вопросы их компоновки и эффективного использования производственных площадей к настоящему моменту исследованы не достаточно полно.

Целью данной работы является изучение компоновочных решений многономенклатурных ротационных машин и линий для выявления и решения проблем, препятствующих эффективному использованию производственных площадей.

Когда необходимо уменьшить объем выпускаемой продукции и увеличить ее разнообразие, группирование серийных производств в массовое производство на основе гибких многономенклатурных роторных линий позволит создать новые гибкие производственные системы. Известные рекомендации по компоновке автоматических роторных линий не всегда применимы в условиях многономенклатурного производства, т.к. данные рекомендации не предусматривали большие затраты времени на переналадку групповых инструментальных блоков. Проведенные исследования позволили установить, что при создании многономенклатурных роторных линий зачастую следует отказываться от классических компоновок, характерных для однономенклатурных роторных линий.

Список литературы: **1.** Михайлов А. Н. Основы синтеза поточно-пространственных технологических систем непрерывного действия.- Донецк: ДонНТУ, 2002.- 379. **2.** Albert, M. Multi-spindle Thinking For Machining Center Part [Электронный ресурс] // Modern Machine Shop. URL: http://www.mmsonline.com/articles/multi-spindle-thinking-for-machining-center-parts (Дата обращения:12.01.2017). **3.** Буленков Е. А. Разработка технологических процессов изготовления крепежных изделий на многономенклатурных роторных линиях: учебное пособие / Е. А. Буленков.- Донецк: ДонНТУ, 2016. – 126 с.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОТЕНЦИАЛА ТРИБОКОНТАКТА ДЕТАЛЕЙ В РЕЖИМЕ ГРАНИЧНОГО ТРЕНИЯ

Бутенко В.И. [1], Кулинский А.Д. [2], Шаповалов Р.Г. [1]
([1]ИРТСиУ ЮФУ, г. Таганрог, Россия; [2]ОАО «Ейский станкостроительный завод, г. Ейск, Россия)
Тел. +7 (8634) 371-622; E-mail:shapovalov116@mail.ru

Abstract: *The results of analytical and experimental studies of the potentials of the materials of contacting parts operating in conditions of boundary friction. The change in potential of tribocontact details from the contact time depends on the probability of preservation of a continuity adsorbed on the surfaces of the parts of the molecular film of hydrocarbons comprising lubricant. The explanation of bursts of potentials, simultaneously occurring at each surface of contacting parts.*

Key words: *part, tribocontact, boundary friction, potential, hydrocarbons, probability, continuity, surface layer, splash.*

Анализ результатов исследований в области трения и износа деталей машин даёт основание сделать вывод о том, что в случае наличия между контактирующими поверхностями деталей трибосистемы, полученных из железоуглеродистых сплавов, адсорбированного слоя (например, смазки на основе углеводородов или оксидов) потенциал и энергию трибоконтакта при давлениях контактирующих поверхностей до p = 1 МПа и скоростях скольжения до $V_{ск}$ = 0,3 м/с, следует рассматривать с точки зрения гидродинамических явлений [1,2] при давлениях p = 1 МПа и скоростях скольжения $V_{ск}$ = 0,3 м/с необходимо использовать положения теории граничного трения, базируясь, например, на идеализированной модели бимолекулярной граничной системы. В простейшей трёхфазной системе, которая имеет место в большинстве случаев, когда в зоне трибоконтакта давления превышают 1 МПа при скоростях скольжения более 0,3 м/С (например в узлах трения подъёмно-транспортных машин), граничный слой, разделяющий металлические поверхности контактирующих деталей, построен из двух мономолекулярных адсорбированных слоёв (рис. 1). Плоскость $x - x$ для этой системы является плоскостью её зеркальной симметрии, разделяя её на две вполне равноценные половины. Последние могут рассматриваться как два граничных монокристалла, находящихся во взаимодействии друг с другом. Среднее значение потенциала такого взаимодействия $U_{\sum}$ по её абсолютной величине определяется соотношением потенциалов взаимодействия ювенильных поверхностей контактируемых материалов U_1 и адсорбированного слоя U_2:

$$U_{\sum} = U_1 - U_2 \times p(U), \qquad (1)$$

где $p(U)$ – вероятность сохранения сплошности слоя, адсорбированного на поверхностях деталей трибоконтакта в процессе трения, которая может быть определена по номограмме (рис. 2), построенной по результатам экспериментальных данных при значениях параметра относительной опорной длины профиля t_p = 80 – 100% (опорная длина профиля η_p определялась на уровне p = 0,8 при базовой длине l = 10 мм).

Потенциал ювенильных поверхностей деталей трибосистемы U_1, согласно модели граничного слоя трибоконтакта (рис. 1), при контактировании железоуглеродистых сплавов разного химического состава и структуры может быть определён по формулам

$$U_1 = U_1^1 + U_1^2\left(1 - \frac{U_1^2}{U_1^1}\right), \text{ или } U_1 = U_1^1 + \frac{U_1^2\left(U_1^1 - U_1^2\right)}{U_1^1}, \qquad (2)$$

где U_1^1, U_1^2 – соответственно потенциалы контактирующих поверхностей деталей трибосистемы.

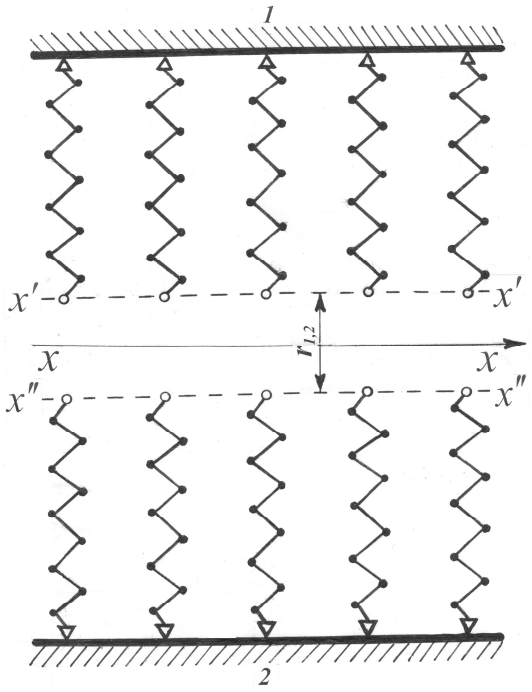


Рис. 1. Модель граничного слоя трибоконтакта, образованного двумя мономолекулярными адсорбированными слоями жирной кислоты на металлических поверхностях (по А.С. Ахматову): чёрные кружки – CH^2 – группы; белые кружки – CH^3 – группы; треугольники – COOH

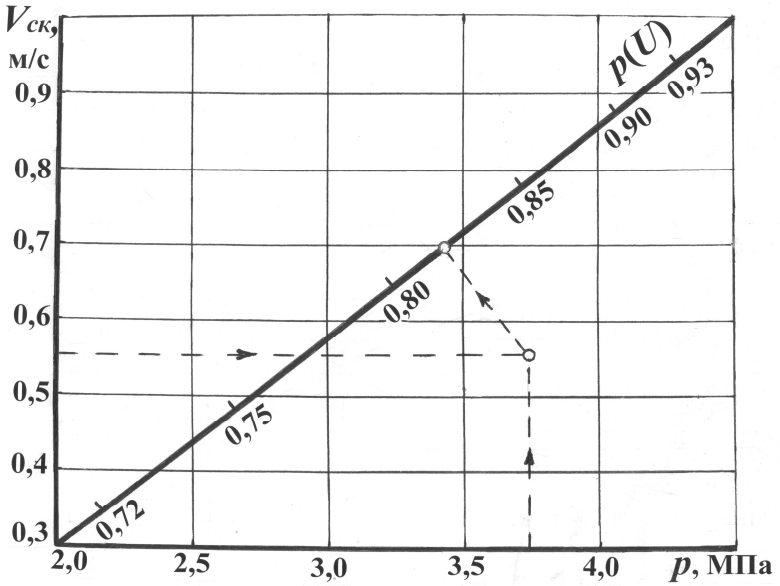


Рис. 2. Номограмма определения вероятность сохранения сплошности адсорбированного слоя на поверхностях деталей трибоконтакта $p(U)$

В случае присутствия на поверхностях деталей трибосистемы адсорбированных углеводородов основой для расчёта потенциала взаимодействия граничных слоёв могут служить формулы для определения парного притяжения и отталкивания атомов, полученные Ф. Лондоном, У. Слатером и С. Кирквудом [3] :

$$u = M \exp\left(-\varepsilon r_{1,2}\right) - \frac{B}{r_{1,2}^6}, \qquad (3)$$

где B – коэффициент пропорциональности, смысл которого определяется соотношением $B\,T = E$ (здесь T – температура в кельвинах; E – модуль упругости углеводородной цепи);

$r_{1,2}$ – расстояние между плоскостями CH_3 – центров углеводородов (жирных кислот), принимаемая в расчётах равной 3,09Å ;

M – деформационный электрический момент; при постоянстве кривизны изгиба цепи углеводорода γ его величина определяется по формуле:

$M = \mu' \sin\frac{\gamma}{2}$ (здесь μ' – величина электрического момента атомной связи С – Н; μ' = 0,4D (D – характеристика потенциального барьера торможения электронных оболочек взаимодействующих атомов; γ – центральный угол, характеризующий кривизну изгиба цепи углеводорода на протяжении одного звена);

$\varepsilon = \frac{2{,}43}{a_0}$; здесь a_0 – боровский радиус.

Если принять вероятное значение боровского радиуса для CH_3 – групп a_0 = = 0,528 Å, то $\exp\left(-\frac{2{,}43}{0{,}528} r_{1,2}\right) = 10^{-1{,}999} r_{1,2} \approx 10^{-2} r_{1,2}$.

Полный потенциал взаимодействия граничных слоёв трибоконтакта деталей с адсорбированными углеводородами определится по формуле:

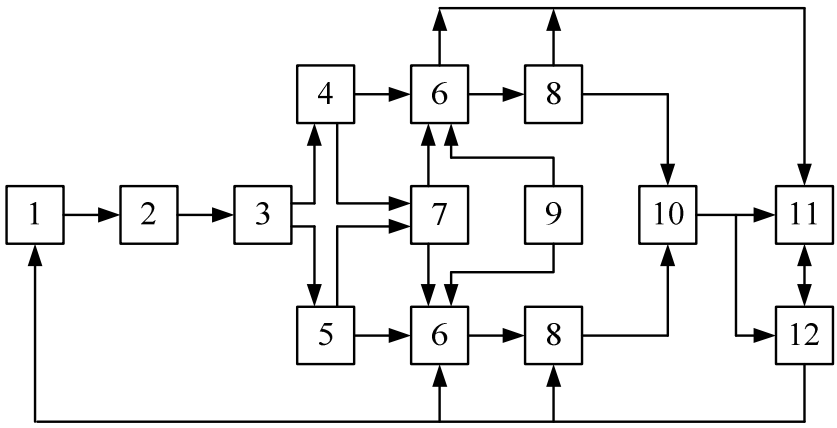
$$U_2 = \left(M \sum_1^{\rho'} \exp\left(-\varepsilon r_{1,2}\right)\right) - B \sum_1^{\rho'} \frac{1}{r_{1,2}}, \qquad (4)$$

где ρ' – ретикулярная плотность точечных центров сил используемых углеводородов; для CH_3 – центров $\rho' = 6\times10^{14}$ см$^{-2}$.

Для экспериментального определения потенциала трибоконтакта поликристаллических материалов был разработан и изготовлен специальный комплекс, блок-схема которого и общий вид представлены на рис. 3.

Выполнено 168 экспериментов по определению потенциала трибоконтакта деталей в режиме граничного трения при следующих значениях параметров: p = 2,0 МПа; $V_{ск}$ = 0,3 – 0,5 м/с; Θ = 40 – 80°С; смазка – масло турбинное марки Тп-21С ГОСТ 101821-2001 вязкостью 100 сСт при температуре 20°С и плотностью 900 кг/м^3. Потенциалы снимались с каждой контактируемой поверхности детали отдельно, что позволило получить графики изменения потенциала U в зависимости от времени контактирования τ при наличии граничного слоя (рис. 4).

В табл. 1 приведены данные о величине потенциала трибоконтакта поверхностей деталей U_Σ полученные экспериментально на установке (рис. 3) средние значения $U_\Sigma^э$, и рассчитанные по формуле (1) U_Σ^p с учётом вероятности сохранения сплошности адсорбированного слоя на поверхностях деталей трибоконтакта $p(U)$. В качестве смазочного материала использовалось масло турбинное марки Тп-21С ГОСТ 101821-2001; начальные параметры шероховатости контактируемых поверхностей деталей Ra = 0,32 – 0,40 мкм; S_m = 0,2 – 0,3 мкм; t_p = 80 – 90%. Анализ полученных данных свидетельствует о том, что они достаточно хорошо согласуются между собой: отклонения, определённые по формуле $\Delta U_\Sigma = \frac{U_\Sigma^p - U_\Sigma^э}{U_\Sigma^p} \cdot 100\%$, существенно не превышают 15%.



а

б

в

Рис. 3. Комплекс для исследования потенциала трибоконтакта поликристаллических материалов: *а* - блок - схема комплекса: 1 – электродвигатель; 2 – редуктор; 3 – переключатель; 4 – реечная передача; 5 – коническая передача; 6 – кассетные устройства; 7 – нагрузочное устройство; 8 – регистрирующее устройство; 9 – нагревательное устройство; 10 – усилитель; 11 – компьютер; 12 – пульт управления; *б* – общий вид комплекса; *в* – пульт управления

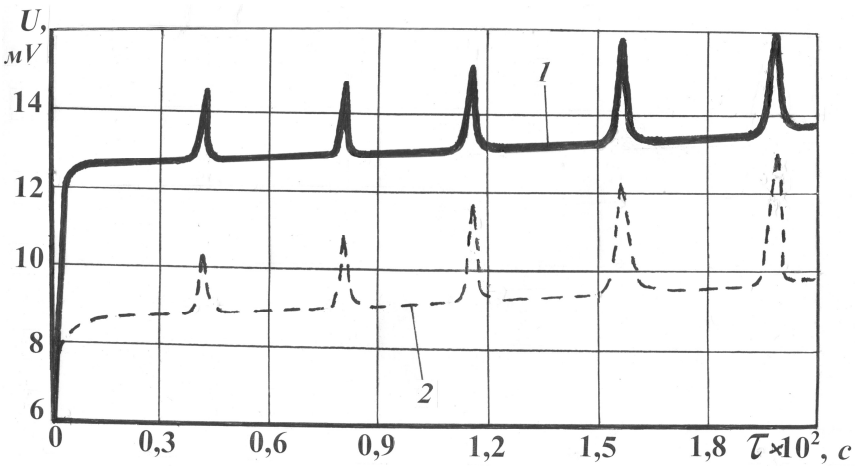


Рис. 4. Графики изменения потенциала *U* материала поверхностного слоя деталей трибоконтакта «сталь 12Х3Н – сплав ЖС6У» от времени контактирования τ при наличии граничного слоя из масла турбинного марки Тп-21С: p = 2,5 МПа; $V_{ск}$ = 0,5 м/с): 1 – поверхность детали из стали 12Х3Н; 2 – поверхность детали из сплава ЖС6У

Таблица 1 - Сравнение экспериментальных и расчётных значений потенциала трибоконтакта поверхностей деталей U_{Σ}, работающих в режиме граничного трения

Пара трения	Режимы трения			Значения потенциала U_{Σ}, мВ		Отклонения ΔU_{Σ}, %
	p, МПа	$V_{ск}$, м/с	Θ, град.С	эксперим. $U_{\Sigma}^{э}$	расчётные $U_{\Sigma}^{р}$	
Сталь 12Х3Н – сталь 12Х3Н	2,5	0,3	30	13	14,8	12,2
	4,0	0,5	60	17	19,2	11,5
Сталь 12Х3Н – сплав ЖС6У	3,0	0,5	40	20	18,7	-6,9
	4,0	0,7	80	24	21,3	-12,2
Сталь 30ХГСА – сталь 12Х3Н	2,5	0,4	30	14	15,5	9,9
	4,0	0,5	60	19	20,1	5,5
Сплав ЖС6У – сплав ЖС6У	3,0	0,5	60	23	21,4	-7,9
	4,5	0,8	80	25	22,6	-15,1

В результате выполненных исследований установлено:

1) изменение потенциалов материалов поверхностного слоя контактируемых деталей, эксплуатируемых в режиме граничного трения, происходит со всплесками потенциалов, вызванных, по-видимому, разрывами сплошности молекулярной плёнки углеводородов, причём эти всплески появляются практически одновременно по каждой поверхности детали;

2) периодичность появления всплесков обусловлена условиями трения (p, $V_{ск}$, Θ), видом адсорбированного смазочного материала и состоянием поверхностного слоя контактируемых деталей по показателям шероховатости: Ra, S_m, $t_p(\eta_p)$; вероятность сохранения сплошности адсорбированного слоя на поверхностях деталей трибоконтакта $p(U)$ определяется по номограмме, представленной на рис. рис. 2;

3) потенциалы ювенильных поверхностей контактируемых деталей U_1^1 и U_1^2 могут существенно отличаться друг от друга (рис. 4) и определяются химическим составом и структурой материалов деталей трибоконтакта.

Список литературы: 1. Ахвердиев, К.С. Стратифицированное течение двухслойной смазки в зазоре упорного подшипника, обладающего повышенной несущей способностью / К.С. Ахвердиев, Е.Е. Александрова, Е.В. Кручинина, М.А. Мукутадзе // Вестник ДГТУ. – Т. 10. – Ростов н/Д: Издат. центр ДГТУ, 2010. - №2(45). – С. 18 – 22. **2.** Ахвердиев, К.С. Стратифицированное течение двухслойной смазки в зазоре упорного подшипника, обладающего повышенной несущей способностью / К.С. Ахвердиев, Е.Е. Александрова, Е.В. Кручинина, М.А. Мукутадзе // Сб. науч. тр. X Междунар. конф. – СПб.:Изд-во РГУПС, 2010. – С. 98 – 106. **3.** Y.C. Slater, C.C. Kirkwood. The Importance of Oil-Metals Adhesion in Lubrication / Conference in Lubrication. – Wear, London, 2002. – Paper № 1. –Vol. 245 – 256.

ИНЖЕНЕРНАЯ ПОДГОТОВКА СТУДЕНТОВ И ПОВЫШЕНИЕ КВАЛИФИКАЦИИ ВУЗОВСКИХ ПРЕПОДАВАТЕЛЕЙ И СПЕЦИАЛИСТОВ ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ КРУПНЫХ НИОКТР

Ваулин С.Д., Волошина И.А. (*ФГАОУ ВО «ЮУрГУ» (НИУ)», г. Челябинск, Россия)*
Тел./Факс: +73512723444;e-mail: s.d.vaulin@susu.ru, Тел./Факс: +7351267950;
e-mail: voloshinaia@susu.ru

Abstract: *The article describes the experience of SUSU (NRU) in integrating education, science and entrepreneurship in teaching students, upgrading the skills of the university academic staff and employees of enterprises. Performance of 8 projects on creation of high-tech production of new products is characterized. The results were evaluated according to the following criteria: the competences of the design, technological, and settlement activities; number of intellectual property products. To improve the quality of the results, the educational program of professional retraining "Creation of high-tech production of new technical objects" was developed and realized.*
Key words: *project, competence, engineering education, professional retaining program, student, specialist*

Сегодня сотрудники предприятий должны обеспечивать и собственную конкурентоспособность, и конкурентоспособность своих предприятий на мировом рынке. Для предприятий необходимы такие результаты НИР, которые дают «быструю» отдачу, т.е. идут в производство, существенно улучшая выпускаемую или готовящуюся к выпуску продукцию. Так же, предприятиям нужны молодые специалисты (выпускники ВУЗов), готовые без дополнительной подготовки быстро включиться в производство новой или модернизированной продукции, знающие это производство (конструкции, технологию, логистику). В решении этих задач должны активно участвовать все заинтересованные субъекты: студенты, преподаватели технических направлений вузов, сотрудники предприятий.

В современном мире в конкурентной борьбе побеждают те предприятия, которые, возможно, не являются самыми крупными, но являются самыми «быстрыми» в аспекте инноваций. «Инновации обеспечивают жизнеспособность общества в целом, конкурентоспособность страны и отдельных организаций» [1, с. 15]. Российская экономика развивается в соответствии с концепцией 4 «I»: institutions, investment, infrastructure, innovation [2]. Создание высокотехнологичного производства и обеспечение его квалифицированными кадрами, готовыми к инновациям, способствует стабильности и росту позиции предприятия на мировом рынке [3, 4, 5, 6]. Эти интересы со стороны производства обусловливают характер его взаимоотношений с университетами. Предприятия заинтересованы в подготовке университетами таких кадров, которые хорошо знают различные аспекты производства: конструирование, технологический процесс, логистику, и при этом готовы с минимальным адаптационным периодом включиться в производство. Это достигается высоким качеством образования в условиях интеграции образования, науки и предпринимательства, путем приобщения студентов к процессу проектирования и создания высокотехнологичных изделий. При этом в метанаучном смысле под интеграцией понимается аспект развития, признак эволюции целостности, связанный с объединением ранее разрозненных разнородных частей на основе их взаимного приспособления [7]. Согласимся, что интеграция образования и науки - это «эволюционирующая процессуально-результатная целостность внутренних и внешних связей и отношений образования и науки, основанная на их взаимном стремлении к устранению своей обособленности, характеризующаяся

универсальностью, многообразием возникновения новых адаптивных связей, преобразованием связей из внешних во внутренние, системностью соотношения целого и составляющих его частей, непрерывным усложнением структуры и необратимым ее переходом на качественно иной образовательно-научный уровень» [8, с.32].

Правительство РФ, понимая важность решения существующей проблемы, издало в 2010 г. Постановление № 218, направленное на интеграцию науки, образования и производства. В соответствии с этим Постановлением на конкурсной основе предприятия совместно с университетами создают высокотехнологичное производство новой продукции или создают новую технологию производства этой продукции. Предприятие является заказчиком – создателем нового производства, а университет – головным разработчиком нового продукта или технологии. Государство возмещает половину затрат предприятия на реализацию проекта в части разработки новой продукции или технологии, т.е. затраты на работы университета. В выполнении научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ в течение 3-х лет работают вместе преподаватели, научные сотрудники, аспиранты и студенты университета и сотрудники предприятия. Через 3 года с начала проекта коллектив ВУЗа с коллективом предприятия (конструкторы, технологи, испытатели, рабочие, управленцы) создают новый опытный образец продукции, всю конструкторскую, технологическую, эксплуатационную документацию на него, проводят все виды испытаний и создают высокотехнологичное производство этого продукта. Новый продукт изготавливается серийно и поступает в продажу. Налоговые отчисления с этой продажи компенсируют затраты государства на проект. Результаты интеллектуальной деятельности преподавателей вуза и предприятия оформляются в виде патентов на изобретения, программ и комплексов программ для ЭВМ и статей в журналах РФ и зарубежных.

Разработка и внедрение проекта являют средством и условием развития компетенций проектирования и создания высокотехнологичного продукта у студентов, преподавателей технических дисциплин университета и сотрудников предприятий. В педагогическом аспекте поставлена задача освоения участниками проекта компетенций, которые были разбиты на две группы: общепрофессиональные и профессиональные.

ЮУрГУ с 2010 г. участвует в интеграционном процессе, оформленном Постановлением Правительства РФ № 218. За эти годы мы, совместно с промышленными предприятиями, выиграли по конкурсу бюджетное финансирование 8 проектов по созданию высокотехнологичного производства новой продукции (6 конструкторских и 2 технологических). В настоящее время завершено 5 проектов. На одном из них можно остановиться для иллюстрации идеи интеграции науки, образования и предпринимательства и организации непрерывного образования (студенты, аспиранты, повышение квалификации преподавателей ВУЗа и сотрудников предприятия). В 2013-2016 гг. ЮУрГУ был головным разработчиком в проекте «Создание производства модельного ряда микротурбинных энергоустановок нового поколения». Заказчиком было предприятие ОАО «СКБ «Турбина», которое, совместно с университетом, победило в конкурсе Министерства образования и науки РФ в соответствии с Постановлением № 218 и осуществило финансирование данного проекта в размере 186 млн. рублей (93 млн. рублей были возмещены из государственного бюджета). В выполнении проекта со стороны университета участвовало 110 человек, представлявших Аэрокосмический, Механико-технологический, Энергетический, Физико-металлургический, Приборостроительный и Физический факультеты. От предприятия участвовало также более 100 человек

(конструкторы, технологи, испытатели, производственники). Возглавляли проект: от университета – проректор по научной работе, а от предприятия – генеральный директор.

Творческий коллектив от университета состоял из примерно 50 человек основного состава (профессоры, доценты, научные сотрудники, инженеры-исследователи) и сменяющихся в процессе работы молодых ученых (11 человек), молодых специалистов (13 человек), аспирантов (16 человек), студентов (36 человек). Такая ротация объяснялась как условиями конкурса, так и желанием университета привлечь к практической работе возможно большее количество молодежи. Выполнение проекта осуществлялось в соответствии с утвержденными Планом-графиком и Техническим заданием, в которых были указаны конкретные работы, сроки их выполнения и результаты, которые должны быть достигнуты. Выполнение проекта проходило в соответствии с принятыми в РФ этапами разработки новой техники: техническое предложение, эскизный проект, технический проект, исследовательские испытания изготовленных макетов и составных частей разрабатываемой установки, промежуточные предварительные испытания, приемочные испытания готового опытного образца установки.

В результате выполнения проекта была разработана рабочая конструкторская документация, рабочая технологическая документация, по которым были изготовлены составные части микрогазотурбинной энергетической установки (камера сгорания, турбогенератор, теплообменник, электрическая машина) и собрана вся установка, разработаны программы и методики испытаний, по которым эти испытания были проведены на новых, созданных в проекте, испытательных стендах. В результате была создана и испытана новая для РФ микрогазотурбинная энергоустановка. На предприятии, кроме указанных испытательных стендов, были созданы или существенно модернизированы производственные участки для серийного изготовления разработанной установки.

Работа над проектом проходила в творческом сотрудничестве коллективов университета и предприятия на всех этапах создания установки. В начале работы было много горячих обсуждений и споров по принципиальному облику установки. В них участвовали и разработчики, и конструкторы, и технологи, и производственники. Все понимали важность закладываемых в установку технических решений. После взвешенного согласованного решения коллективов университета и предприятия пошли совместные работы. В университете проводились расчеты, создавались чертежи, модели, образцы установки, а на предприятии они обсуждались, критиковались и уточнялись. Затем испытания показывали, что разработано хорошо, а что нужно еще доработать, изменить, улучшить. В результате 3-х лет упорного труда двух коллективов, которые практически слились в один, был создан опытный образец микрогазотурбинной энергоустановки и подготовлены условия для ее серийного изготовления на предприятии.

Все участники проекта приобрели бесценный опыт работы над созданием сложного технического объекта. Ученые университета провели большое количество расчетов и исследовательских испытаний, которые были оформлены 33 статьи в различных изданиях за рубежом и в РФ. Аспиранты, участвуя в проекте, приобрели опыт практической работы и получили в свои диссертации теоретические и экспериментальные результаты. Студенты выполняли курсовые и дипломные проекты, содержащие результаты их работы в проекте (расчеты, испытания, элементы технологических процессов изготовления, отдельные конструкторские решения). Инженеры-исследователи университета, проводя конструкторско-

технологические работы, получали новые конструкторские решения, которые были оформлены в патенты на изобретения (5 патентов). Сотрудники предприятия, участвуя в проекте, приобрели новые знания и умения в использовании новых пакетов прикладных программ для ЭВМ, новых САД, САМ, САЕ пакетов для решения конструкторских, технологических и расчетных задач. По признанию генерального директора предприятия, его коллектив значительно вырос профессионально. Такого же мнения придерживаются и участники проекта от университета, имея в виду себя.

Участники эксперимента освоили следующие общепрофессиональные компетенции: способность к проведению метрологической экспертизы технической документации; организация работ по испытаниям, наладке и приему в эксплуатацию технических объектов (или их элементов); организация разработки, внедрения и сопровождения; организация анализа и оптимизации процессов управления жизненным циклом продукции; выполнение пусконаладочных работ нового технологического оборудования; выполнение работ по наладке технологического оборудования для изготовления изделий; составление инструкций и контроль проведения пусконаладочных работ, испытаний и аттестации технологического оборудования; организация выполнения научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ; организация технического и методического руководства проектированием продукции; организация подтверждения соответствия продукции и услуг в организации; стратегическое управление процессами планирования производственных ресурсов и производственных мощностей; стратегическое управление процессами организационной и технологической модернизации производства; стратегическое управление процессами конструкторской, технологической и организационной подготовки производства; организация исследований и разработка перспективных методов, моделей и механизмов организации и планирования производства; контроль соблюдения нормативных сроков обновления продукции и подготовки ее к аттестации и сертификации. Также проект был направлен на формирование следующих профессиональных компетенций у всех участников: участие в разработке эскизных, технических и рабочих проектов продукции и технологических процессов; способность принимать участие в разработке методических и нормативных документов по проектированию технических объектов и проведении мероприятий по их реализации; способность составлять описания принципов действия и устройства проектируемой продукции и объектов с обоснованием принятых технических решений; способность принимать участие в работах по доводке и освоению технологических процессов в ходе подготовки производства новых технических объектов, проверять качество монтажа и наладки при испытаниях и сдаче в эксплуатацию; способность обеспечивать техническое оснащение рабочих мест с размещением технологического оборудования, принимать и осваивать вводимое оборудование; способность составлять техническую документацию (графики работ, инструкции, сметы, планы, заявки на материалы и оборудование) и подготавливать отчетность по установленным формам; способность осуществлять сбор, обработку, анализ и систематизацию научно-технической информации, отечественного и зарубежного опыта по направлению исследований, выбирать методы и средства решения научно-исследовательских задач; способность разрабатывать планы, программы и методики проведения экспериментов и испытаний технических объектов; способность проводить вторичную обработку и анализ результатов экспериментальных исследований, стендовой отработки и эксплуатации продукции в составе технических

объектов; способность принимать участие в подготовке и проведении испытаний технических объектов и их агрегатов.

Заключение. Таким образом, выполняя научно-исследовательскую работу по созданию новых технических объектов и технологий, университет способствует повышению квалификации студентов, преподавателей, сотрудников предприятий. Для того чтобы полученный опыт развить и распространить на весь преподавательский состав университета, была разработана дополнительная образовательная программа профессиональной переподготовки «Создание высокотехнологического производства новых технических объектов», учитывающая также зарубежный и российский опыт создания программ дополнительного образования [9]. Полученный положительный опыт лег в основу дальнейшей реализации аналогичных проектов в ЮУрГУ.

Список литературы: 1. Котлярова И.О. (2012). Непрерывная подготовка студентов технических направлений к инновационной деятельности // Вестник ЮУрГУ. Серия «Образование. Педагогические науки. 26 (285), вып. 17, pp. 15 – 19. **2.** Bodrunov S.D. (2016). Re-industrialization: Socio-economic parameters of reintegrating production, science and education. SotsiologicheskieIssledovaniya, 2016-January(2), pp. 20-28. **3.** Hurtt, Barbekka C., Kipp, Brian H., Dutta, Kaushik (2012). Integration of technology and science education: A collaborative workshop for instructors. FASEB Journal - Experimental Biology Meeting (San Diego, CA), vol. 26. **4.** Shaidullina A. R., Sheymardanov S. F., Ganieva Y. N., Yakovlev S. A., Khairullina E. R., Biktemirova M. K., &Kashirina, I. B. (2015). The peculiarities of the advanced training of the future specialists for the competitive high-tech industry in the process of integration of education, science and industry. Mediterranean Journal of Social Sciences, 6(2S3), pp. 43-49. doi: 10.5901/mjss.2015.v6n2s3p43. **5.** Sedov, S. A., &Obukhova, L. K. (2015). Integration of education, science and production as reflection of interdependence of political, social, spiritual and economic spheres of social life. Social Sciences (Pakistan), 10(6), pp. 946-950. **6.** Sobyanin, V.A., Dulepova, N.V. (2016). Novosibirsk State University.Integration of education, science, and business.Russian journal of general chemistry, vol. 83, iss. 6, pp. 1242-1251. DOI: 10.1134/S1070363213060431. **7.** Энгельгардт В. А. (1970).О некоторых атрибутах жизни: иерархия, интеграция, «узнавание». Вопросы философии. № 11, pp. 115 – 117. **8.** Тягунова, Ю.В. (2010). Признаки интеграции образования и науки в университете /Ю.В. Тягунова // Вестник ЮУрГУ Серия «Образование. Педагогические науки». Выпуск 8. - № 12 (188), Челябинск: ИЦ ЮУрГУ, pp. 31-39. **9.** Волошина И.А., Котлярова И.О., КрысановаВ.Н. (2015). Ориентация на российские и международные требования в дополнительном профессиональном образовании инженеров //Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Образование. Педагогические науки.Т.7. №4, pp. 82-100.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ФОРМЫ РАБОЧЕЙ ПОВЕРХНОСТИ ПУАНСОНА ПРИ ПРОБИВКЕ ОТВЕРСТИЙ

Веремейчик А.И., Хвисевич В.М. *(БрГТУ, г. Брест, Беларусь)*
E-mail: vai_mrtm@tut.by

Abstract: *In order to increase the tool life, the impact of the punch end surface shape on the components of the stress-strain state was studied. The results of modeling and calculations showed that it is advisable to use a punch with a conical shape of the working zone from the point of view of maintaining a straight axis.*
Key words: *punch, end face, punching, tension, displacement.*

В производственных условиях при использовании установок для пробивки отверстий в крепежных деталях различного назначения применяют цилиндрические пуансоны (рис. 1, а). Во время эксплуатации эти детали подвергаются интенсивному механическому изнашиванию вследствие воздействия динамических ударных нагрузок и могут привести к его деформированию, выкрашиванию материала на кромках или истиранию защитного покрытия на боковой цилиндрической поверхности, и их ресурс составляет около трех тысяч пробивок. Визуальные обследования отработанных пуансонов показали, что происходил не только интенсивный износ их режущих частей, но и искривление оси (рис. 1, б).

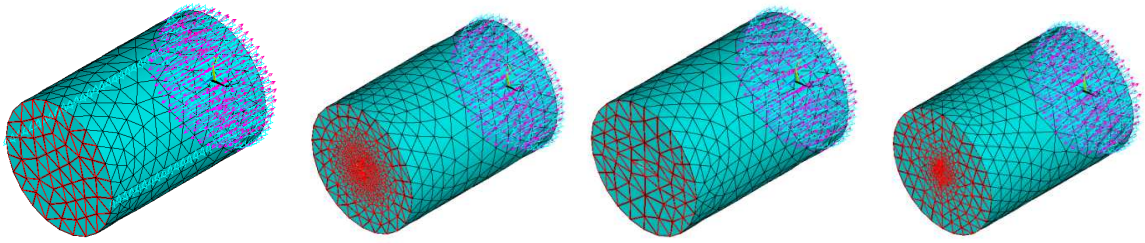
а) б)

Рис. 1. Пробивные пуансоны (а) и характер их износа (б)

Как правило, цилиндрический пуансон имеет плоскую торцевую поверхность (рис. 1). Для снижения усилий при внедрении пуансона в деталь целесообразно исследовать напряженно-деформированное состояние (НДС) его рабочей зоны с целью определения оптимальной геометрической формы рабочей области [1].

Известно, что искривление оси происходит вследствие внецентренного нагружения пуансона и по причине потери устойчивости. С целью повышения эксплуатационных свойств такого инструмента проведено моделирование процесса пробивки отверстий пуансонами с различной формой торцевой части. Изменение формы позволяет перераспределить нагрузки в зоне контакта и исключать внецентренное нагружение [1]. Ввиду невозможности аналитического определения НДС решение осуществляется численно с помощью конечно-элементного вычислительного комплекса ANSYS. Так как особый интерес представляет НДС только рабочей зоны пуансона, созданная конечно-элементная модель является частью пуансона вблизи рабочего торца. В ANSYS построены несколько моделей пробивных пуансонов с различными формами рабочей зоны – торцевой поверхности. Наряду с плоской, рассматриваются еще три геометрические формы рабочей поверхности: конусная с внешним и внутренним конусом с углом у основания, равным 1^{o}; и конусная с конусом лишь в центральной части торца (рис. 2, а–г).

В процессе пробивки пуансон вдавливает отделяемую часть металла от всей заготовки в отверстие матрицы. В начальной стадии операции отмечается неизбежный для пластичных материалов процесс пластической деформации заготовки, который является сопутствующим процессом разделительных операций листовой штамповки. Для снижения пластической деформации в таких операциях кромки пуансона и матрицы выполняют острыми с малым зазором Δ между ними. Оптимальная величина зазора между режущими кромками инструмента зависит от толщины заготовки (рис. 3), пластических свойств материала и составляет примерно 6–10 % толщины материала [2].

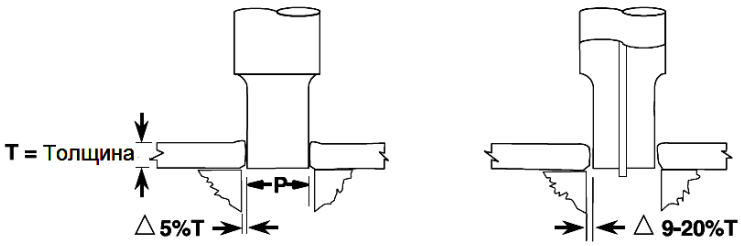


а) плоский конус б) угловой конус в) внешний конус г) внутренний конус

Рис. 2. Конечно-элементные модели рабочей зоны пробивного пуансона

В рассматриваемом процессе материал пуансона и матрицы должен работать в упругой стадии в связи с необходимостью их многократного использования. Листовой материал в зоне нагружения работает в упруго-пластической области.

При построении расчетных схем для разных моделей использовалось различное число конечных элементов. Для повышения точности расчета разбиение области тела на конечные элементы производилось вручную. В местах изменения формы рабочей зоны сетка конечных элементов уплотнялась в два раза. Материал пуансона – сталь Х12М. При моделировании процесса пробивки пуансон закреплялся по нижней торцевой поверхности. В целях определения лишь характера распределения напряжений и деформаций к рабочей зоне прикладывалась нагрузка единичной интенсивности.

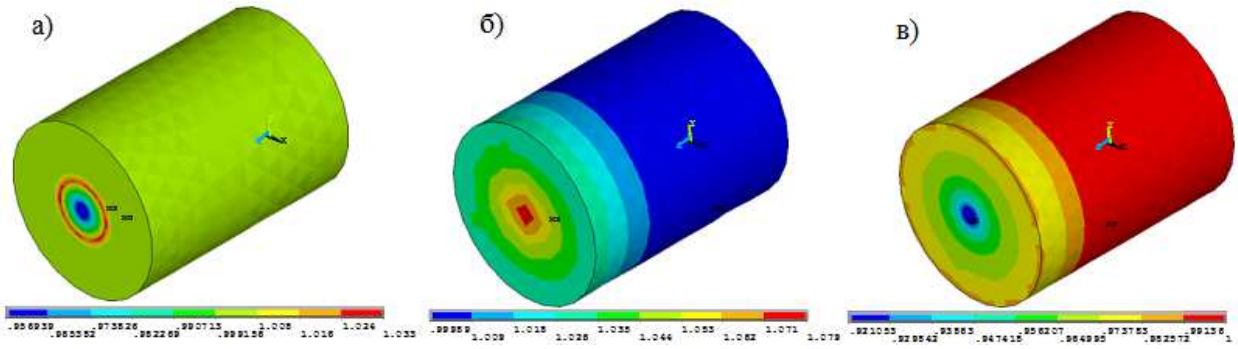


а) обычный зазор б) инженерный зазор

Рис. 3. Схема процесса пробивки отверстий

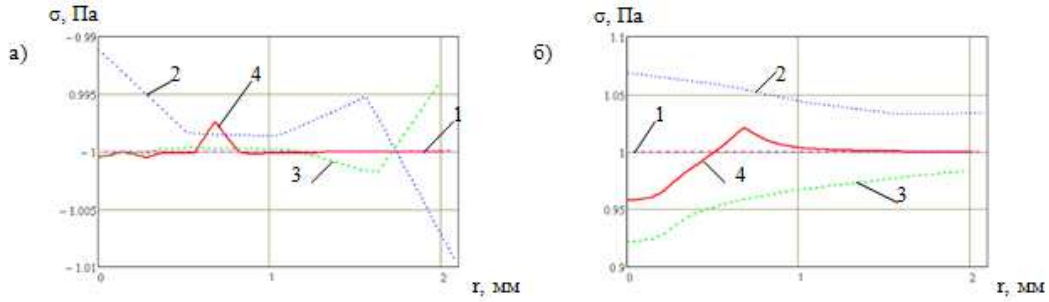
В результате численного решения задач получены распределения напряжений, перемещений и деформаций в пуансоне в зависимости от различных параметров. Типичные распределения перемещений и напряжений приведены на рис. 4–6.

Анализ рис. 4 показывает, что наибольшие эквивалентные напряжения по Мизесу возникают при конусной форме торцевой поверхности с внутренним конусом, что делает эту форму нерациональной. Как видно из рис. 6, наибольшие суммарные перемещения возникают при использовании конусной формы с конусом в центральной части. Характер распределения перемещений при такой форме рабочей зоны принципиально отличается от трех других форм [1]. Наиболее рациональной с точки зрения сохранения прямолинейной оси пуансона и эквивалентных напряжений является конусная форма торцевой поверхности с небольшим внешним конусом.



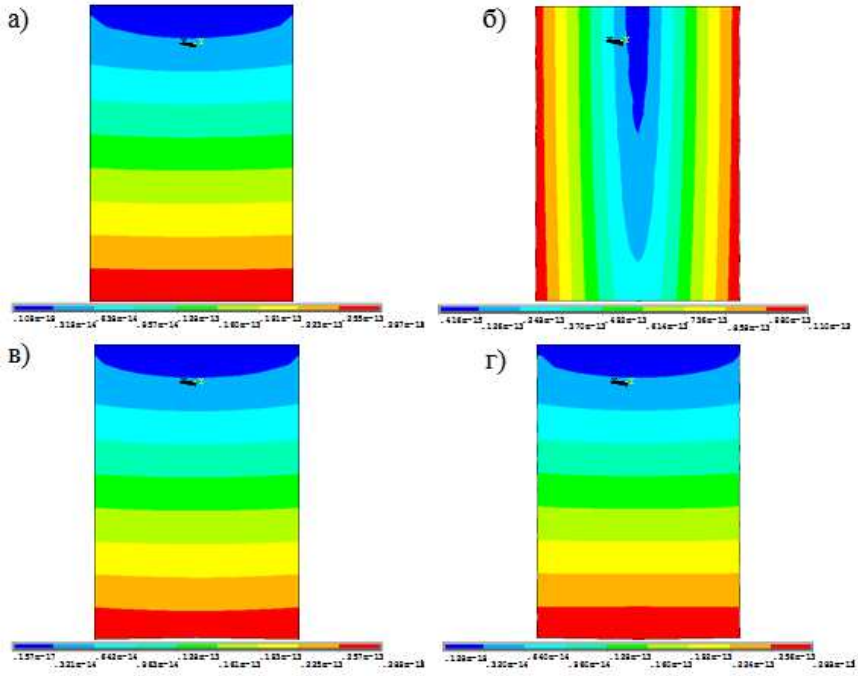
а) конусная форма торцевой поверхности с конусом в центральной части торца, конусная форма с внутренним (б) и внешним (в) конусом

Рис. 4. Типичное распределение эквивалентных напряжений по Мизесу



а) продольные напряжения, б) эквивалентные напряжения при различных формах рабочего торца пуансона (1 – плоская форма торцевой поверхности, 2 – конусная форма с внутренним конусом, 3 – конусная форма с внешним конусом, 4 – конусная форма с конусом в центральной части торца)

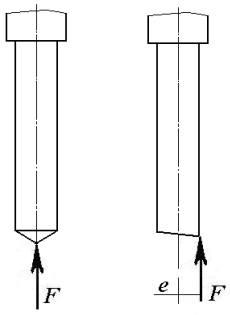
Рис. 5. Типичные зависимости напряжений вдоль радиуса рабочего торца



а) плоская форма торцевой поверхности, б) конусная форма с конусом в центральной части торца, конусная форма с внутренним (в) и внешним (г) конусом

Рис. 6. Распределение суммарных перемещений в продольном сечении пуансона

Наличие конического участка на пуансоне целесообразно не только с точки зрения «растяжки» ударного импульса, но и с точки зрения распределения продольных напряжений по сечению стержня. Как было сказано ранее, при пробивании отверстий, у которых диаметр меньше толщины листа, имеет место искривление оси пуансона, что является препятствием к его дальнейшему использованию, что свидетельствует либо о внецентренном нагружении стержня, либо о потере устойчивости. И в том и в другом случае напряжения в стержне превысят предел текучести материала. Для устранения этих обстоятельств используются специальные обжимные направляющие у боковой поверхности пуансона, что усложняет оборудование и увеличивает стоимость продукции. Так как пуансон короткий, то основной причиной изгиба может являться только внецентренное приложение ударной силы. При этом в случае плоского торца при самом незначительном отклонении плоскости торца от перпендикулярной к оси стержня, эксцентриситет приложения нагрузки составит $e=\frac{d}{2}$, для конической торцевой поверхности $e \to 0$ (рис. 7).



а) **б)**

Рис. 7. Нагружение конической (а) и плоской скошенной (б) торцевой поверхности

При $e=\frac{d}{2}$ выражение для нормальных напряжений примет вид [3]:

$$\sigma=\frac{F}{A}\pm\frac{M}{W}=\frac{F}{\frac{\pi d^2}{4}}\pm\frac{F\frac{d}{2}}{\frac{\pi d^2}{64}/\frac{d}{2}}=\frac{F}{\frac{\pi d^2}{4}}(1\pm 4)\,. \qquad (1)$$

Таким образом, максимальные напряжения сжатия в стержне составят $5\frac{F}{A}$, а напряжения растяжения – $3\frac{F}{A}$. Поскольку напряженное состояние одноосное, то с использованием критерия Треска для оценки наступления пластического состояния материала с одинаковым пределом текучести на растяжение и сжатие находим, что для исключения появления необратимых пластических деформаций в случае пуансона с плоским торцом необходимо ограничить величину предельной силы $F=\pi d\cdot t\cdot\frac{\sigma_T}{2}\cdot K_\partial$ значением $F<\sigma_T\frac{\pi d^2}{20}$, что приводит к соотношению $\frac{t}{d}<\frac{K_\partial}{20}$, где K_∂ – коэффициент динамичности по нагрузке ($K_\partial \geq 1$). В данном случае $\frac{t}{d}\approx 1$, поэтому можно сделать вывод о полной недопустимости нагружения пуансона с эксцентриситетом $e=\frac{d}{2}$. Ввиду того, что контроль за выполнением геометрии нагружения практически исключен, целесообразно с точки зрения сохранения прямолинейной оси использовать пуансон с конической формой рабочей зоны.

Список литературы: **1.** Влияние формы рабочей зоны пуансона на его напряженно-деформированное состояние при пробивке отверстий / В.М. Хвисевич [и др.] // Вестник Брестского гос. техн. ун-та. – 2015. – № 4. – С. 67–72. **2.** Килов А.С., Килов К.А. Производство заготовок. Листовая штамповка: Серия учебных пособий из шести книг. – Кн. 2. – Оренбург: ГОУ ОГУ, 2004. – 182 с. **3.** Беляев Н.М. Сопротивление материалов. – М.: Наука, 1976. – 608 с.

ТЕСТОМЕСИЛЬНЫЕ МАШИНЫ

Войтюк К.А., Костенко А.В.
(КамчатГТУ, г. Петропавловск-Камчатский, Россия)
Тел. +7(984)1637436; E-mail: andr13kost@list.ru

Abstract: *The design and classification of dough-makers is considered. The types of dough-makers are listed, their description and characteristics are given. Factors influencing the choice of dough-makers are given.*

Key words: *bread, dough-maker, knead, kneading tool, bowl, mixer.*

Производство хлеба и хлебобулочных изделий в России занимает важнейшее место среди отраслей пищевой промышленности. В России хлеб является продуктом первой необходимости. От эффективности функционирования и развития этой отрасли зависит снабжение самым доступным продуктом питания для всех слоев населения. При этом согласно [1] в России имеется более 10 тыс. хлебозаводов (в том числе 1,5 тыс. крупных) и пекарен, способных вырабатывать ежесуточно около 70 тыс. т. хлеба, или 500 г хлеба на человека.

Одним из ответственных этапов приготовления хлеба и хлебобулочных изделий является приготовление теста, который (этап) реализуется в специальных смесительных машинах, называемых тестомесами. Отметим, что качество смешивания будет во многом определять качество готовой продукции.

Тестомес — это оборудование, предназначенное для приготовления различных видов теста: дрожжевого, слоеного, заварного, теста для пельменей, чебуреков, вареников и др. Процесс замеса заключается в смешивании муки, воды, дрожжей, соли, сахара, масла и других продуктов в однородную массу, придании этой массе необходимых физических и механических свойств и насыщении ее воздухом с целью создания благоприятных условий для брожения.

Существуют два способа приготовления теста — порционный и непрерывный. При порционномприготовлении применяются тестомесы периодического действия со стационарно закрепленными или подкатнымидежами. В этих машинах тесто замешивается отдельными порциями через определенные интервалы. При непрерывном способе приготовления теста применяются тестомесынепрерывного действия. В них замес теста происходит одновременно на всех стадиях и участках, по которым продвигается тесто, затем оно выходит из машины непрерывным потоком[2].

Тестомесильная машина, как и любое механическое устройство, имеет основные рабочие узлы и механизмы: дежа, месильный инструмент, приводной механизм.

Дежа – это емкость, в которой размещаются ингредиенты теста и производится непосредственно замес теста. Дежи могут быть различными по своей форме и размерам (корыто, чаша). Дежи могут быть стационарными, подкатными, неподвижными или же могут вращаться вокруг собственной оси. Выбор дежи зависит непосредственно от размеров тестомеса, его предназначения и производительности.

От конструкции и работы месильного инструмента зависит конечное качество изготавливаемой продукции. По своей форме тестомесильные механизмы могут быть самыми различными: это и спирали, и петли, и вилки, и капли, и лопатки. Наиболее распространены Z или S-образные месильные инструменты

На рис. 1 показан Z-образный тестомес. Рабочий орган такого аппарата имеет форму буквы Z. Сама тестомесильная машина данного вида внешне очень похожа на фаршемешалку, но имеет более мощный электромотор и усиленную конструкцию основных узлов. На корпусе машины закреплен электродвигатель, цепная передача с редуктором, дежа, непосредственно через которую проходят два вала с закрепленными на них Z-образными ло-

пастями. Валы опускаются в рабочую дежу, наполненную ингредиентами и, вращаясь друг навстречу другу, производят непосредственно замес теста. Подобные тестомесы служат для замеса очень крутого теста (для пельменей, лапши, чебуреков), а также в кондитерском производстве при изготовлении некоторых сортов печенья[3].

Рис. 1. Тестомес с Z-образным месильным органом

На рис. 2 показан S-образный (спиральный) тестомес. Рабочий инструмент располагается непосредственно в деже, при этом он совершает вращательное движение вокруг собственной оси, за счет чего и производится замес теста. Данные виды машин предназначены для производства видов теста, пользующихся высоким спросом и поэтомуочень популярны, прежде всего, у владельцев предприятий общественного питания.

Рис. 2. Тестомес с S-образным месильным органом

S-образные тестомесы разделяют по принципу смешивания ингредиентов:

1. С движением дежи – замес теста осуществляется за счет вращения дежи, тестомесильный инструмент при этом остается неподвижным.
2. С движением месильного инструмента - замес теста осуществляется за счет вращения месильного инструмента, подключенного к электродвигателю.
3. Общего движения - замес теста осуществляется за счет движения и месильного инструмента, и емкости с ингредиентами теста. Для машин такого типа свойственна большая емкость дежи и они могут отличается не только типом вращения, но и имеющимся количеством электродвигателей (обычно это два мощных электродвигателя). Положительная черта данного типа тестомесов — качество промеса теста. В аппаратах данного типа оно гораздо выше, чем у машин 1-го и 2-го типа [3].

Планетарный миксер (рис. 3) имеет более широкий спектр применения, чем замес теста. Данный кухонный тестомес с применяется не только для приготовления различных сортов теста (белковое, бисквитное, слоеное, заварное,дрожжевое, песочное), но и

для различных кондитерских масс (сливки, кремы, муссы, суфле, безе). Тип вращения у месильного инструмента данного типа машин – планетарный (вращение осуществляется вокруг своей оси и вокруг оси дежи). Такие миксеры имеют несколько скоростей вращения месильного инструмента, а также являются многофункциональными за счет комплектации дополнительных насадок.

Рис. 3. Тестомес сподвижной дежой и планетарным приводом

В условиях больших объемов производств необходимо использование тестомесильных машин непрерывного действия. На рис. 4 приведен пример такой машины [4]. В аппарат подаются ингредиенты, в корыте все компоненты смешиваются и постепенно перемещаются к выходному отверстию. Процесс замеса контролируется через смотровое окно, а пробы теста (опары) берутся через малую откидную крышку. К выходному отверстию при помощи фланца крепится шнековый насос или шибер.

Рис 4. Тестомес непрерывного действия

Таким образом, производителю хлеба и хлебобулочных изделий предлагается широкий спектр различных тестомесов, имеющих различную конструкцию, различную производительность и мощность. Выбор осуществляется главным образом по производительности (объемам производства) и, безусловно, вида теста, которое существенно влияет на форму смесительного органа.

Список литературы: 1. Современное состояние хлебопекарной промышленности России [Электронный ресурс]. – URL: http://www.strategplann.ru /estatiw/sovremennoe-sostojanie-hlebopekarnoj-promyshlennosti-rossii.html (дата обращения: 10.04.2018). **2.** Тестомес – самые разные модели, предназначенные для замеса дрожжевого или крутого тестаURL: http://www.tsf2000.ru/stati/testomes.html (дата обращения: 10.04.2018). **3.** Какие бывают тестомесы? URL: http://bak-pkp.ru/instruktsii-po-oborudovaniyu/kakie-byivayut-testomesyi/ (дата обращения: 10.04.2018). **4.** Тестомесы непрерывного действия Т-108 / Т-112 [Электронный ресурс]. – URL: http://www.semz-ural.ru/products/testomesilnoe_oborudovanie/testomesitelnaya_mashina_t108_i_t112/ (дата обращения: 10.04.2018).

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПЛАСТИЧНОСТИ ЛИТОГО СПЛАВА НА КОБАЛЬТ-ХРОМОВОЙ ОСНОВЕ ПРИ ПРОДОЛЬНОЙ ОСАДКЕ

Волочко А.Т., Изобелло А.Ю., Басалай А.В., Биленко Э.Г., Сможевский И.И., Чмеренко А.Н., Гусаров С.В. *(ФТИ НАН Б, г. Минск, Беларусь)*
Тел./Факс: +375(17)3697693; E-mail: ftiltsh@rambler.ru

Abstract: *This article presents the results of investigation of technological plasticity, microstructure, phase compositionof samples from Co-Cr-Mo alloy subjected to longitudinal sediment.*
Key words*: cobalt alloy, endoprosthesis, technological plasticity, stamping, microstructure*

Практика применения литейного сплава на Co-Cr основе при изготовлении имплантов исчисляется десятилетиями. Однако до сих пор процент брака среди отливок достаточно высок, что влияет на стоимость имплантов из данного сплава.

Одним из методов снижения стоимости импланта является снижение количества бракованных заготовок, которого можно добиться путем последующей штамповки литой заготовки. Для определения технологической пластичности данного сплава посвящена данная статья.

Материалы и методы исследования. Для определения усилия деформации от температуры использовали два вида оборудования: кривошипно-шатунный пресс и испытательную систему GLEEBLE 3800. Работа заключалась в определении давления деформации в зависимости от температуры при свободной осадке. Литые отожжённые образцы из сплава Co 63% – Cr 27% – Mo 6% имели размер перед осадкой Ø12×25 мм.

Микроструктуру изучали с применением металлографического и рентгенофазового анализов. Металлографический анализ проводили с использованием оптического микроскопа МИКРО-200 при различном увеличении. Рентгенофазовый анализ проводили при помощи дифрактометра ДРОН-3М с излучением CuK_2.

Травление микрошлифов производили при помощи химического травления: 10 мл HNO_3 + 30 мл HCl (царская водка) погружением в течение 5-60 с [1, 3, 4].

Результаты и их обсуждение. По результатам испытаний прямой продольной осадкой построены графики зависимостей давления от степени деформации при различных температурах и зависимость степени деформации от температуры, представленные на рисунках ниже.

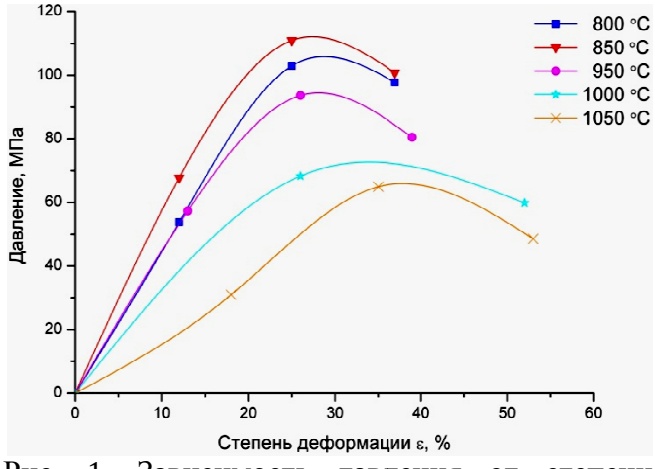


Рис. 1. Зависимость давления от степени деформации, при различных температурах, полученная при динамическом нагружении

Из графика на рисунке 1 видно, что в температурном интервале 800-1050 °C давление деформации составляет 70-110 МПа.

Для всех образцов наблюдался характерный пик удельного давления при степени деформации 20-25 % и дальнейшее его снижение вплоть до момента разрушения образца при степенях 45-50 %.

Установлено, что увеличение температуры с 800 до 1000 °C при динамическом нагружении приводит к плавному увеличению технологической пластичности (степень деформации до 52 %), дальнейшее повышение температуры приводит к резкому падению технологической пластичности сплава и уже при температуре 1050 °C предельная степень деформации составляет всего около 30 %.

Зависимость давления от степени деформации при различных температурах,

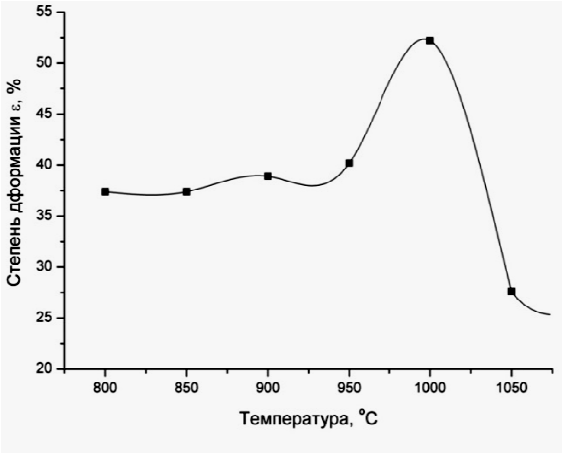
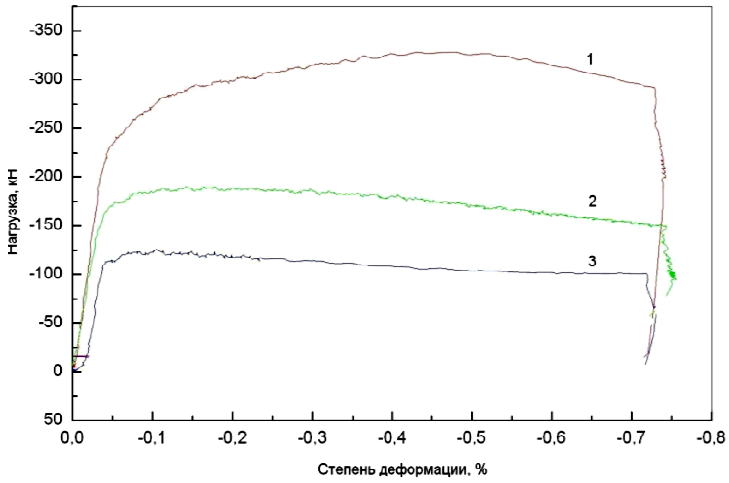


Рис. 2. Зависимость степени деформации от температуры

полученная при использовании системы GLEEBLE 3800 (г. Ченстохова, Польша) представлена на рисунке 2. Как видно из графиков на рисунке 2, при нагреве образцов до температуры 1100 °С перед осадкой, происходит увеличение давления до степени деформации 50 %. Дальнейшее увеличение температуры перед осадкой до 1200 °С и 1300 °С приводит к плавному снижению давления деформации, видимо, из-за ускоренных процессов релаксации напряжений.

На рисунке 3 представлена рентгеновская дифрактограмма (CuK) исследуемого сплава. Установлено, что интерференционные линии на рентгенограмме при 2θ 43,66; 50,86; 74,90; 90,90 и 96,46 относятся к твердому раствору хрома в кобальте с ГЦК-решеткой. Остальные линии соответствуют фазе *ε-Co*, *k*-фазе, *σ*-фазе и карбидам типа $Me_{23}C_6$, которые имеют схожее межплоскостное расстояние и не разрешаются на рентгеновской дифрактограмме.



1 – 1100°С; 2 – 1200 °С; 3 – 1300 °С

Рис. 2. Зависимость давления от степени деформации, при различных температурах, полученная с использованием системы GLEEBLE 3800

Проведенные металлографические исследования литых образцов доказывают трехфазную мелкозернистую структуру исследуемого сплава Co-Cr-Mo со средним размером зерна твердого раствора хрома в кобальте с ГЦК-решеткой в районе 15-20 мкм. Упрочняющие фазы равномерно распределены по объему сплава и расположены по границам зерен. В твердом растворе присутствует *σ*-фаза и карбиды типа $Me_{23}C_6$, что подтверждается проведенным рентгеноструктурным анализом. Средний диаметр *σ*-фазы составляет 10 мкм, а карбидов – 4 мкм (рисунок 4).

Литые образцы из Co-Cr-Mo-сплава имеют относительно низкие функциональные характеристики [3], вследствие дендритной ликвации легирующих элементов, пористости. Поэтому литые сплавы подвергают термической обработке.

Зерно при отжиге 1120 °С растет незначительно вследствие выделения упрочняющих фаз (преимущественно σ-фазы) в виде прерывистой цепочки по границам зерен. Благодаря выделенной по границам зерен σ-фазы при последующем нагреве отожженного образца рост зерна и разнозернистость также незначительны.

После пластической деформации истинные границы зерен выявить относительно сложно, поскольку интенсивно растравливается область вокруг упрочняющих фаз (зона с повышенной плотностью дефектов и напряжений) [2]. При температуре нагрева 1000 °С и последующей деформации зерно измельчается в

среднем в два раза по сравнению с исходным. При увеличении степени деформации зерна вытягиваются вдоль направления течения металла, а в зонах с большой интенсивностью локальных деформаций образуется характерная текстура (рисунок 4).

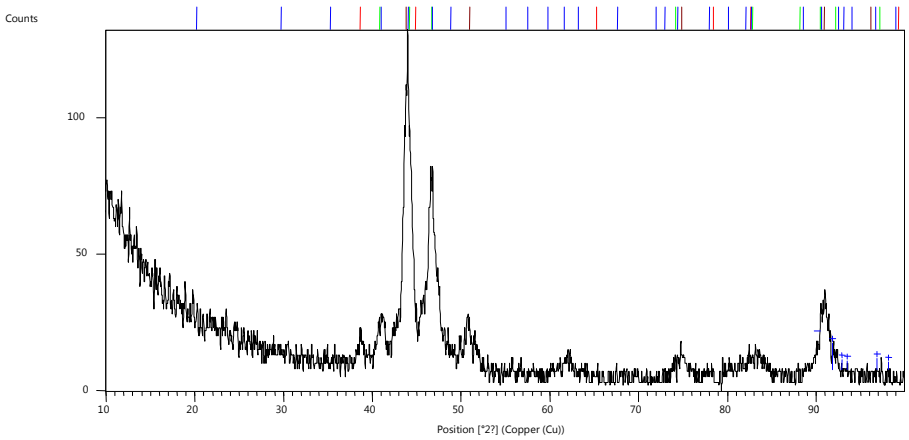
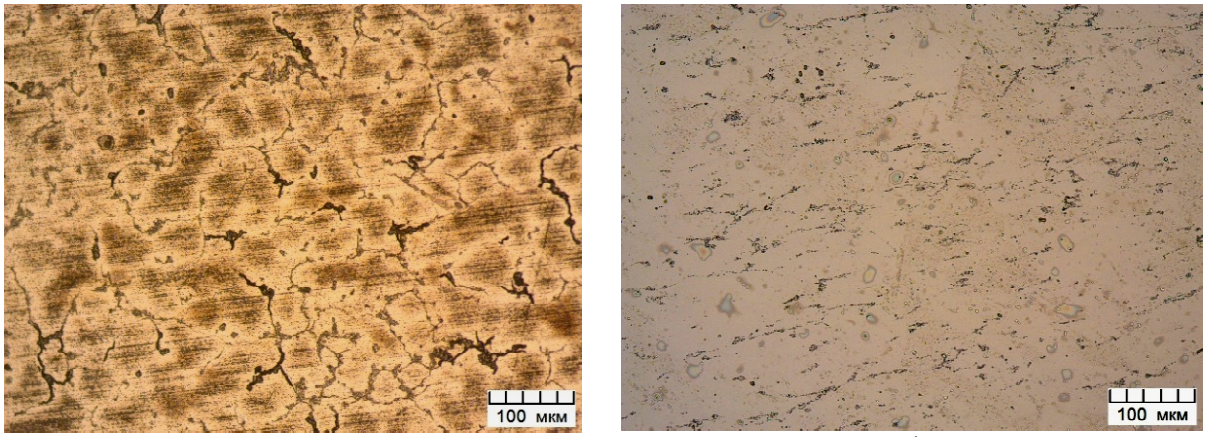


Рис. 3. Рентгеновская дифрактограмма ($CuK\alpha_1$) исследуемого сплава системы Co-Cr-Mo



а б

а – отожжённый до осадки; б – после осадки 52 % при 1000 °С

Рис. 4. Микроструктуры образцов

Выводы. Установлено, что наилучшая пластичность сплава достигается при t=1000 °С, при этом предельная степень деформации достигает 52 %. Дальнейшее увеличение температуры перед осадкой приводит к снижению пластичности образца, и вследствие этого образец разрушается уже при 1050-1100 °С. При медленном нагружении происходит плавное увеличение давления до степени деформации 50 %. Дальнейшее увеличение температуры перед осадкой до 1200 °С и 1300 °С приводит к плавному снижению давления деформации, видимо, из-за ускоренных процессов релаксации напряжений.

Список литературы: 1. Доценко, В.И. Исследование структуры литого сплава Co-Cr-Mo [Текст] / В.И. Доценко, Е.Н. Чайка, И.С. Брауде. И [др.] // Металлография и новейшие технологии. – 2002. – Т.24, №1. – С.113. **2.** Ивашко, В.В. Исследование структуры и свойств Co–Cr–Mo-сплава в литом и горячедеформированном состоянии [Текст] / В.В. Ивашко // Известия Национальной академии наук Беларуси. – 2012. - №1. – С. 4. **3.** Красиков, В. Л. Закономерности формирования структуры и свойств имплантатов при скоростном нагреве и пластическом деформировании сплавов системы кобальт-хром-молибден: дис. …канд. Техн. наук / ФТИ НАН Беларуси. – Минск, 2008. – 161 с. **4.** Баранова, Л.В. Металлографическое травление металлов и сплавов [Текст] / Л.В. Баранова, Э.Л. Демина. - М.: Металлургия, 1986. - 256 с.

МОДЕЛИРОВАНИЕ УЧАСТКОВ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ПУТИ ПЕРЕМЕННОЙ ЖЕСТКОСТИ

Гелюх П.А., Шукюров Д.Р., Фазилова З.Т., Дмитриев В.Г., Бугаев Н.М.
(*ФГБОУ ВО РУТ (МИИТ), МАИ (НИУ), Москва, Россия)*
vgd2105@mail.ru

Abstract: *In the areas adjacent to the approach embankment to the bridge, it is necessary to arrange areas of variable stiffness, providing a gradual increase in the rigidity of the base of the path from the embankment to the foundations, in order to increase the resistance of the roadbed to vibrodynamic loads from the rolling stock, as well as reducing the accumulation of residual deformations. The design and parameters of the site of variable stiffness: length, shape, physical and mechanical characteristics of soil backfill are determined in the calculation process for each site of variable stiffness separately based on statistical observations and field surveys. In this paper, we develop a model of a railway track of variable stiffness in the form of a set of flat elements with orthotropic properties in the three main directions of anisotropy. The functional equation is obtained, the solution of which allows to determine the eigenfrequencies of the plate element.*

Основная цель расчета - определение конструктивного решения, обеспечивающего выполнение требований комфортности проезда и безопасности движения поездов. Расчет должен учитывать упругие и неупругие деформации участка, их градиенты по длине, жесткость и осадки устоя, мероприятия для регулировки неупругих осадок, а также жесткость и массовые характеристики опирающегося на устой пролетного строения. Длина участка переменной жесткости назначается исходя из индивидуальных расчетов конструкции и установленной скорости движения поездов, но не менее 25 м.

В процессе эксплуатации железнодорожного пути на подходе перед искусственными сооружениями из-за перепада жесткости конструкций пути и искусственного сооружения под воздействиями динамических нагрузок от подвижного состава возникают различные дефекты верхнего строения пути, подшпального основания и земляного полотна, такие как: нарушение геометрии пути (перекос, отклонение по рихтовке, по уровню, по ширине колеи); осадка пути; деформация основной площадки земляного полотна (балластные мешки, балластные корыта, балластные гнезда); нарушение целостности откосов земляного полотна (сплывы, выпоры).

Самыми распространенными дефектами участков переменной жесткости являются осадка пути «предмостовые ямы» и, как следствие, нарушение геометрии пути. При ликвидации осадок путем их неоднократной засыпки щебнем происходит перегруз основной площадки земляного полотна, приводящий к деформациям основной площадки и откосов земляного полотна.

Опасным фактором развития деформаций на переходном участке является прогиб рельса, оказывающий значительное влияние на величину динамического воздействия на верхнее строение пути от подвижного состава [1-3]. Деформация рельса возникает из-за неравномерной осадки на переходном участке пути и требует особого внимания [4]. Для контроля участков переменной жесткости и отслеживания появления нестабильностей на них используются результаты путеизмерительных вагонов КВЛ-П.

Анализируя результаты обследования опытных участков можно с уверенностью сказать, что осадка пути на подходах к искусственным сооружениям присутствует с каждой стороны [5]. В большей степени осадка пути развивается перед мостами по ходу движения поездов и в меньшей степени за ними. Анализируя экспериментальные

данные можно сделать следующие выводы: при увеличении скоростей движения либо повышении осевых или погонных нагрузок обостряется сопряжение разных конструкций пути на участках переменной жесткости перед искусственными сооружениями, либо на стыке участков безбалластного и обычного балластного пути, что ведет к развитию дефектов земляного полотна при накоплении остаточной деформации. Специально разработанные конструкции участков переменной жесткости создают наиболее плавный переход пути с земляного полотна на искусственное сооружение, тем самым снижая развитие дефектов земляного полотна и расстройства верхнего строения пути в зоне сопряжения. Наблюдения за опытными участками показали, что на всех участках имеется нарушение нестабильного состояния пути. При проведении очередного капитального ремонта необходимо рассмотреть возможность устройства на опытных участках вышеприведенных переходных конструкций. Однако полностью обеспечить необходимую плавность хода при высоких скоростях движения поездов пока невозможно, проблема переходных зон еще до конца не раскрыта. Поэтому в перспективе на участках с высокоскоростным движением нужна разработка различных проектных решений переходных участков для максимально возможного снижения влияния динамических нагрузок от подвижного состава на путь перед искусственными сооружениями.

В настоящей работе решается задача математического моделирования участка железнодорожного пути переменной жесткости на основе дифференциальных уравнений, описывающих колебания и динамические процессы в целом плоской анизотропной плиты с учетом различных условий закрепления ее торцов, при одновременном учете деформируемого основания, на котором она лежит. Рассмотрим свободные колебания трансверсально-изотропной пластины, лежащей на деформируемом основании, края которой жестко закреплены. Пластина в недеформируемом состоянии занимает область

$$\{0 \le x \le l_1; 0 \le y \le l_2; -h \le z \le h\}$$

Приближенное уравнение поперечных колебаний имеет вид [6]:

$$A_1 \frac{\partial^2 W}{\partial t^2} + A_2 \frac{\partial^4 W}{\partial t^4} - A_3 \frac{\partial^2}{\partial t^2} \Delta W + A_4 \Delta^2 W + P(W) = 0, \tag{1}$$

где W – поперечное смещение точек срединной плоскости пластины, Δ – оператор Лапласа.

$$A_1 = \rho_1; A_2 = \rho_1^2 \left(A_{33}^{-1} + 3A_{44}^{-1}\right)\frac{h^2}{b}; A_3 = \left\{-\rho_1\left[2 - 2A_{11}A_{33}^{-1} - 3\left(A_{13}^2 - A_{11}A_{33}\right)A_{33}^{-1}A_{44}^{-1}\right]\right\}\frac{h^2}{b};$$
$$A_4 = 2A_{33}^{-1}\left(A_{11}A_{33} - A_{13}^2\right)\frac{h^2}{b}; A_5 = \frac{S}{2h}\rho_1; A_6 = \frac{S}{2h}\rho_1 \frac{h^2}{2}\left(\rho_1 A_{44}^{-1} + 3A_{33}^{-1}\right); A_7 = -4\frac{S}{2h}\rho_1 A_{11}A_{33}^{-1}; \tag{2}$$

где $P(W) = A_5 \frac{\partial W}{\partial t} + A_6 \frac{\partial^3 W}{\partial t^3} + A_7 \Delta \frac{\partial W}{\partial t}$ отпор грунта основания верхнего строения пути, ρ_1 – плотность, b – скорость поперечной волны; $A_{11}=A_{13}=\ldots=A_{nm}$ – коэффициенты анизотропии.

Граничные условия для данной задачи имеют вид [7]:

$$W = \frac{\partial W}{\partial x} = 0; x = 0, l_1 \tag{3}$$
$$W = \frac{\partial W}{\partial y} = 0; y = 0, l_2$$

Будем искать решение однородного уравнения в следующем виде:

$$W(x,y,t)=W(x,y)\exp\left(\xi\frac{bt}{h}\right) \tag{4}$$

где ξ – частота собственных колебаний пластины.

Если представить уравнение (1) в виде:

$$W(x,y)\left(\Delta^2+B_1\Delta+B_2\right)=0 \tag{5}$$

где

$$B_1=\frac{1}{A_4}\left(-A_3\left(\frac{b\xi}{h}\right)^2+A_7\left(\frac{b\xi}{h}\right)\right); \tag{6}$$

$$B_2=\frac{1}{A_4}\left(A_1\left(\frac{b\xi}{h}\right)^2+A_2\left(\frac{b\xi}{h}\right)^4+A_5\left(\frac{b\xi}{h}\right)+A_6\left(\frac{b\xi}{h}\right)^3\right)$$

Для удобства математических выкладок введем безразмерные координаты и функции прогиба: $x=\frac{l_1}{\pi}\alpha,\ y=\frac{l_2}{\pi}\beta,\ W(x,y)=V(\alpha,\beta)\frac{l_1^4}{\pi^4}$

Используя данные замены, получим из уравнения (5) следующее соотношение

$$V(\alpha,\beta)\frac{l_1^4}{\pi^4}\left(\left(\frac{\pi^4}{l_1^4}\frac{\partial^4}{\partial\alpha^4}+2\frac{\pi^4}{l_1^4}\frac{\pi^4}{l_2^4}\frac{\partial^2}{\partial\alpha^2}\frac{\partial^2}{\partial\beta^2}+\frac{\pi^4}{l_2^4}\frac{\partial^4}{\partial\beta^4}\right)+B_1\left(\frac{\pi^4}{l_1^4}\frac{\partial^4}{\partial\alpha^4}+\frac{\pi^4}{l_2^4}\frac{\partial^4}{\partial\beta^4}\right)+B_2\right)=0 \tag{7}$$

Преобразуя уравнение (7) с учетом $\eta=\frac{l_1}{l_2}$ получим

$$V(\alpha,\beta)\left(\left(\frac{\partial^4}{\partial\alpha^4}+2\frac{l_1^2}{l_2^2}\frac{\partial^4}{\partial\alpha^2\partial\beta^2}+\frac{l_1^4}{l_2^4}\frac{\partial^4}{\partial\beta^4}\right)+B_1\left(\frac{l_1^2}{\pi^2}\frac{\partial^2}{\partial\alpha^2}+\frac{l_1^4}{\pi^2 l_2^2}\frac{\partial^2}{\partial\beta^2}\right)+B_2\frac{l_1^4}{\pi^4}\right)=0;$$

В соответствии с методом декомпозиций сформулируем три вспомогательные задачи:

$$1.\ \frac{\partial^4 V_1}{\partial\alpha^4}=f_1(\alpha,\beta)\qquad V_1=\frac{\partial V_1}{\partial\alpha}=0\qquad \alpha=0,\pi$$

$$2.\ \eta^4\frac{\partial^4 V_2}{\partial\beta^4}=f_2(\alpha,\beta)\quad V_2=\frac{\partial V_2}{\partial\beta}=0\qquad \beta=0,\pi \tag{8}$$

$$3.\ \left[2\eta^2\frac{\partial^4}{\partial\alpha^2\partial\beta^2}+B_1\frac{l_1^2}{\pi^2}\left(\frac{\partial^2}{\partial\alpha^2}+\eta^2\frac{\partial^2}{\partial\beta^2}\right)+B_2\frac{l_1^4}{\pi^4}\right]V_3+f_1+f_2=0;$$

В исследуемых точках участка железнодорожного пути, моделируемого плоским анизотропным слоем обозначим

$f_i(\alpha,\beta)=\sum_{n,m=1}^{\infty}a_{n,m}^{(i)}\sin(n\alpha)\sin(m\beta)$ - некоторые произвольные функции, где $a_{n,m}^{(i)}$ произвольные постоянные, $i=1,2$

Общее решение вспомогательных задач будем искать в виде:

$$V_1(\alpha,\beta)=\sum_{n,m=1}^{\infty}\frac{a_{n,m}^{(1)}}{n^4}\sin(n\alpha)\sin(m\beta)+\frac{\alpha^3}{6}\psi_1(\beta)+\frac{\alpha^2}{2}\psi_2(\beta)+\alpha\psi_3(\beta)+\psi_4(\beta); \tag{9}$$

$$V_2(\alpha,\beta)=\sum_{n,m=1}^{\infty}\frac{a_{n,m}^{(2)}}{\eta^4 m^4}\sin(n\alpha)\sin(m\beta)+\frac{\beta^3}{6}\varphi_1(\alpha)+\frac{\beta^2}{2}\varphi_2(\alpha)+\beta\varphi_3(\alpha)+\varphi_4(\alpha);$$

где $\psi_i(\beta)$ и $\varphi_i(\alpha)$ произвольные функции

Удовлетворяя общее решение граничным условиям и учитывая вспомогательные задачи определим все произвольные функции $\psi_i(\beta)$ и $\varphi_i(\alpha)$, получим систему:

$$\begin{cases}\left[2\eta^2\frac{\partial^4}{\partial\alpha^2\partial\beta^2}+B_1\frac{l_1^2}{\pi^2}\left(\frac{\partial^2}{\partial\alpha^2}+\eta^2\frac{\partial^2}{\partial\beta^2}\right)+B_2\frac{l_1^4}{\pi^4}\right]V_3+f_1+f_2=0\\ V_1-V_2=0;V_3=\frac{1}{2}(V_2+V_1)\end{cases} \quad (10)$$

При $n,m=1$ и $\alpha=\beta=\frac{\pi}{2}$ систему можно привести к виду:

$$\begin{cases}c_{11}a_{11}^{(1)}+c_{12}a_{11}^{(2)}=0\\ c_{21}a_{11}^{(1)}+c_{22}a_{11}^{(2)}=0\end{cases} \quad (11)$$

где $c_{11}=B_1\frac{l_1^2}{2\pi^2}\left[-1+\frac{2}{\pi}-\eta^2\left(1-\frac{\pi}{4}\right)\right]+B_2\frac{l_1^4}{2\pi^4}\left(1-\frac{\pi}{4}\right)-\eta^2\left(-1+\frac{2}{\pi}\right)+1,$

$$c_{12}=B_1\frac{l_1^2}{2\pi^2\eta^2}\left[-1+\frac{2}{\pi}-\frac{1}{\eta^2}\left(1-\frac{\pi}{4}\right)\right]+B_2\frac{l_1^4}{2\pi^4}\frac{1}{\eta^4}\left(1-\frac{\pi}{4}\right)-\frac{1}{\eta^2}\left(-1+\frac{2}{\pi}\right)+1, \quad (12)$$

$c_{21}=1,\ c_{22}=-\frac{1}{\eta^4}$.

Определитель данное системы и будет являться функциональным уравнением для определения собственных частот участка железнодорожного пути с анизотропными свойствами. Предлагаемый способ расчета собственных частот участка переменной жесткости пути в ряде задач динамического воздействия будет эффективнее традиционных способов расчета в конструкции железнодорожного пути на плитном основании и позволит учесть большее число параметров состояния полотна и поведения транспортного средства при движении по нем.

Список литературы: **1.** Коган А.Я. Расчеты железнодорожного пути на вертикальную динамическую нагрузку //Тр. ВНИИЖТа. - 1973- Вып. 502. - 80 с. **2.** «Интегральные преобразования и операционное отчисление». Справочная математическая библиотека. Физматгиз, 1961 г. **3.** Корн Г., Корн Т. Справочник по математике для научных работников и инженеров. М.: Наука. 1984. 831 с. **4.** Loktev A, Sychev V., Gridasova E. and Stepanov R. Mathematical Modeling of Railway Track Structure under Changing Rigidity Parameters // Nonlinearity. Problems, Solutions and Applications. V.1. Theoretical and Applied Mathematics. 2017. – P. 291-307. **5.** Локтев А.А., Сычев В.П., Локтев Д.А., Дмитриев В.Г. Автоматизированная система выявления дефектов колес подвижного состава на основе оценки ударного неосесимметричного воздействия колеса на рельс при моделировании верхнего строения пути ортотропной пластиной//Проблемы машиностроения и автоматизации. 2017. № 4. С. 59-70. **6.** Киселев Ф.Б., Мансуров А.Р., Рамазанов М.И. Моделирование динамического воздействия подвижного состава на основание железнодорожной насыпи с цилиндрической полостью. Внедрение современных конструкций и передовых технологий в путевое хозяйство. 2016. Т. 10. № 10-10 (10). С. 37-45. **7.** Loktev A.A., Sychev V.P. Vinogradov V.V., Buchkin V.A. Modelling of the Dynamic Contact between a Wheel of a Moving Railway Vehicle and Rails with Evaluation of Defects Emerging upon Their Interaction. Part 1. The Defects of the Rail and Models of Contact // Applied Mathematical Sciences, Vol. 11, 2017, no. 10, 473 – 480.

СОПРЯЖЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ЭЛЕКТРОДИНАМИКИ И ТЕПЛООБМЕНА В ГАЗОРАЗРЯДНОЙ КАМЕРЕ ВЫСОКОЧАСТОТНОГО ИНДУКЦИОННОГО ПЛАЗМОТРОНА

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

Abstract:*In the paper the results of the connected physical and mathematical modeling of electric, magnetic and thermal processes in the discharge chamber high-frequency induction plasmatron are submitted. Results are received on the basis of experimental measurements of values of a longitudinal component of a magnetic field and the decision of two-dimensional system of Maxwell equations which has been written down for cylindrical system of coordinates.*
Key words: *mathematical modeling, discharge, high-frequency, plasmatron* .

В последнее время все большее значение приобретают технологические процессы и установки, основанные на применении низкотемпературной плазмы. Высокочастотные индукционные (ВЧИ) плазмотроны являются достаточно простыми источниками низкотемпературной плазмы, пригодными как для целей лабораторного моделирования, так и для промышленного использования в разнообразных плазменных технологиях [1-4].

При разработке процессов и устройств, использующих в качестве рабочего тела высокочастотную индукционную плазму, необходимо иметь достоверную информацию о ее основных электрофизических и тепловых параметрах.

На практике, определение всех этих параметров путем экспериментального исследования требует дорогостоящего диагностического оборудования.

В связи с этим возникает необходимость разработки методик, позволяющих рассчитать основные параметры ВЧИ-плазмы, используя ограниченное число измеренных величин. С этой точки зрения использование известного профиля магнитного поля (а именно значение продольной составляющей магнитного поля H_z) обладает рядом преимуществ. Профиль магнитной составляющей электромагнитного поля в индукторе определяется условиями поглощения электромагнитной энергии в проводящей зоне. Таким образом, при любых прочих условиях скорость изменения величины напряженности магнитного поля будет определяться электропроводностью газа. При давлениях порядка атмосферного и имеющих место концентрациях электронов плазма канала разряда является термически равновесной. В этом случае проводимость является однозначной функцией температуры и давления.

Ввиду такой однозначной зависимости появляется возможность проводить расчеты только в рамках системы уравнений Максвелла, описывающих электромагнитную картину, возникающую в индукторе плазмотрона, и получить информацию о электрофизических и тепловых характеристиках ВЧИ-разряда.

Измерение распределения продольной компоненты магнитного поля в зоне разряда проведено на экспериментальном стенде на базе высокочастотной индукционной установки ВЧИ-11/60 (рис. 1). Для обеспечения теплового режима стенда применялась система водяного охлаждения с замкнутым циклом. Центробежный насос 2 нагнетает охлаждающую воду в раздаточный коллектор 3, где с помощью регулируемых вентилей устанавливаются необходимые величины расхода по каждому из контуров системы охлаждения. Принудительному водяному охлаждению подвергаются: силовая часть высокочастотной установки 1, магнитный зонд 5, теплозащитный экран 4, индуктор ВЧ-плазмотрона. Отработанная горячая вода поступает в собирающий коллектор 6, откуда она подается в водоохлаждающую градирню 13, где цикл завершается. Система газового обеспечения. стенда состоит из

поршневого воздушного компрессора 7, который через собственный рессивер нагнетает воздух в воздушную магистраль, откуда он поступает в пульт регулировки илазмообразующего газа 8. В этом же пульт по отдельной ветке подается газообразный аргон. Пульт имеет два регулирующих вентиля аргоновой и воздушной линии и ротаметр общего расхода 10. Из пульта регулировки плазмообразующий газ поступает в газоформирующую головку плазмотрона 11.

Для проведения измерений продольной составляющей магнитного поля H_z был использован специально изготовленный водоохлаждаемый датчик. Конструктивно датчик выполнен в виде коаксиальной системы трубок и капилляров. Внешняя рубашка водяного охлаждения выполнена из тонкостенной кварцевой трубки с толщиной стенки 0,3 мм. Охлаждающая вода поступает по внутренней тонкостенной медной трубке. Электрическая часть датчика состоит из миниатюрной приемной катушки и двух медных капилляров, являющихся экранирующими элементами, защищающими концы катушки от наводок электромагнитного поля. Датчик крепится к двухстепенному координатному столу, который позволяет вводить зонд в разряд и перемещать его в осевом и радиальном направлениях. Координатный стол, обойма датчика и измерительная линия защищены от воздействия факела плазмы водоохлаждаемым экраном. Сигнал от датчика поступает в измерительную систему, состоящую из амплитудного детектора нижних частот и цифрового вольтметра.

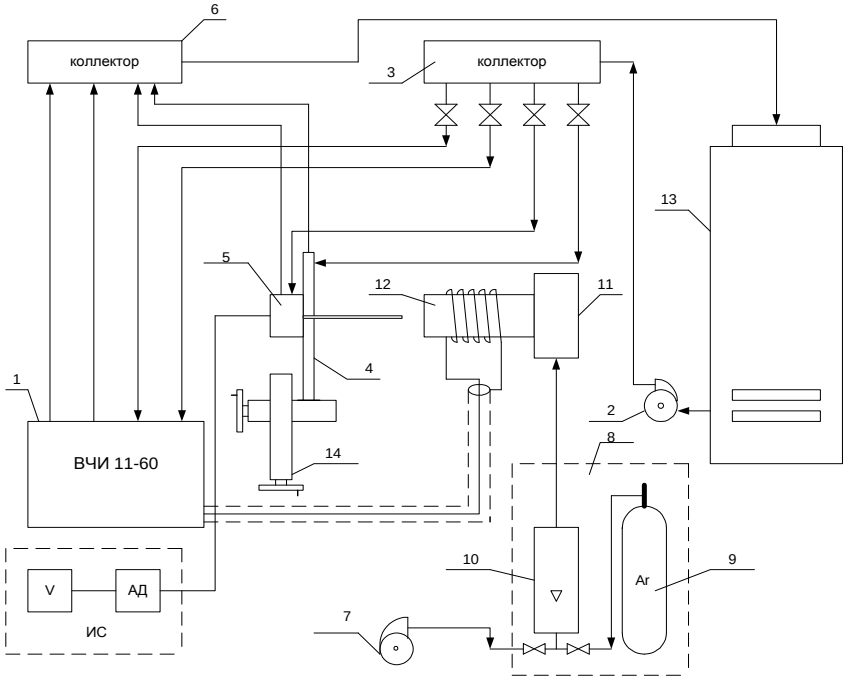


Рис. 1. Схема экспериментального стенда. 1 – силовая часть ВЧ-установки; 2 – центробежный водяной насос; 3 – раздаточный коллектор; 4 – теплозащитный экран; 5 – магнитный зонд; 6 – собирающий коллектор; 7 – воздушный компрессор; 8 – пульт регулировки плазмообразующего газа; 9 – баллон с аргоном; 10 – ротаметр общего расхода газа; 11 – газоформирующая головка плазмотрона; 12 – газоразрядная камера; 13 – водоохлаждающая градирня; 14 – координатный стол; ИС – измерительная система: АД – амплитудный детектор; V – цифровой вольтметр

В данной работе исследовались процессы в разрядной камере плазмотрона ВЧИ 11-60 с пятивитковым индуктором длиной 150 мм и диаметром 100 мм. Диаметр разрядной камеры 76 мм. Длина 500 мм. Мощность генератора 60 КВт. Частота 1,76 Мгц.

Как видно, диаметр индуктора соизмерим с его длиной. Поэтому очевидно, что для количественного расчета процессов, происходящих в разрядной камере необходим учет влияния граничных эффектов.

Для описания электромагнитных полей ВЧИ-плазмы воспользуемся системой двухмерных уравнений Максвелла, записанной в цилиндрической системе координат:

$$\begin{cases} \frac{1}{r}\frac{\partial(rE_\varphi)}{\partial r} = \frac{\omega}{c} H_z \sin(\varphi_{Hz} - \varphi_E) \\ \frac{\partial \varphi_E}{\partial r} = -\frac{\omega}{c}\frac{H_z}{E_\varphi}\cos(\varphi_{Hz} - \varphi_E) \\ \frac{\partial H_z}{\partial r} = \frac{\partial H_r}{\partial z}\cos(\varphi_{Hz} - \varphi_{Hr}) + H_r \frac{\partial \varphi_{Hr}}{\partial z}\sin(\varphi_{Hz} - \varphi_{Hr}) - \frac{4\pi}{c}\sigma E_\varphi \cos(\varphi_{Hz} - \varphi_E) \\ \frac{\partial \varphi_{Hz}}{\partial r} = -\frac{1}{H_z}\frac{\partial H_r}{\partial z}\sin(\varphi_{Hz} - \varphi_{Hr}) + \frac{H_r}{H_z}\frac{\partial \varphi_{Hr}}{\partial z}\cos(\varphi_{Hz} - \varphi_{Hr}) + \frac{4\pi}{c}\sigma\frac{E_\varphi}{H_z}\sin(\varphi_{Hz} - \varphi_E) \\ \frac{1}{r}\frac{\partial(rH_r)}{\partial r} = -\frac{\partial H_z}{\partial z}\cos(\varphi_{Hz} - \varphi_{Hr}) + H_z \frac{\partial \varphi_{Hz}}{\partial z}\sin(\varphi_{Hz} - \varphi_{Hr}) \\ \frac{\partial \varphi_{Hr}}{\partial r} = -\frac{1}{H_r}\frac{\partial H_z}{\partial z}\sin(\varphi_{Hz} - \varphi_{Hr}) - \frac{H_z}{H_r}\frac{\partial \varphi_{Hz}}{\partial z}\cos(\varphi_{Hz} - \varphi_{Hr}) \end{cases}$$

Здесь r - радиальная координата; z - продольная координата; E_φ-напряженность электрического поля; H_z - продольная составляющая напряженности магнитного поля; H_r - поперечная составляющая напряженности магнитного поля; φ_E, - фазовый угол электрического поля; φ_{Hz}, - фазовый угол продольного магнитного поля; φ_{Hr} - фазовый угол поперечного магнитного поля; σ - удельная электропроводность; c - скорость света в вакууме; ω - частота колебаний ВЧ-поля.

Система состоит из шести уравнений и содержит семь неизвестных величин $E_\varphi, \varphi_E, \varphi_{Hz}, H_r, \varphi_{Hr}, \sigma, H_z$. Задача состоит в том, чтобы, используя одну из заданных компонент электромагнитного поля, найти все остальные. С этой точки зрения использование в качестве входной величины H_z является наиболее удобной, поскольку для задания граничных условий на оси плазмоида все остальные величины системы уравнений Максвелла не требуют экспериментального определения.

Значения H_z берутся из эксперимента. Тогда система является замкнутой и может быть использована для расчетов электромагнитных величин внутри разряда.

Граничные условия при r=0:

$$E_\varphi = 0;\ \varphi_E = 0;\ \varphi_{Hz} = \frac{\pi}{2};\ \varphi_{Hr} = \frac{\pi}{2};\ H_r = 0;\ \frac{\partial H_z}{\partial r} = 0;$$

Полученные при решении системы значения электропроводности, используются затем для расчетов полей температуры. Кроме того, значения электропроводности позволяют рассчитать такие важные параметры как плотность тока и удельная мощность тепловыделения. Данная система уравнений решается методом конечных разностей.

Перед началом решения системы дискретных уравнений была проведена операция сглаживания экспериментальных значений продольной составляющей напряженности магнитного поля H_z. После операции сглаживания для сглаженных значений H_z проводилась аппроксимация кубическим сплайном по методу предложенному в [5]. Это делалось для того, чтобы обеспечить условие непрерывности для аппроксимирующей функции. Однако, как показали предварительные расчеты,

этих операций явно недостаточно, чтобы обеспечить вполне корректный расчет значений удельной электропроводности σ вблизи точки r=0. Поэтому, при решении системы уравнений вблизи оси разряда используются предельные соотношения [6] и полученные на их основе аналитические выражения для основных электрофизических параметров разряда [7]:

$$H_z(r,z) = H_z(0,0)\left\{ I_0(b\cdot r) + \frac{16a\sigma^2}{b^4}\left[I_0(b\cdot r) - 1 - \frac{b^2}{4}r^2 \right] \right\}\cos(b\cdot z),$$

$$H_r(r,z) = H_z(0,0)\left\{ I_1(b\cdot r) + \frac{16a\sigma^2}{b^4}\left[I_1(b\cdot r) - \frac{b}{2}r - \frac{b^3}{16}r^3 \right] \right\}\sin(b\cdot z),$$

$$E_\varphi(r,z) = \frac{\omega}{bc}H_z(0,0)\left\{ I_1(b\cdot r) + \frac{16a\sigma^2}{b^4}\left[I_1(b\cdot r) - \frac{b}{2}r - \frac{b^3}{16}r^3 \right] \right\}\cos(b\cdot z),$$

$$\varphi_E(r,z) = \frac{1}{2}\frac{\pi\omega\sigma}{c^2}r^2;\ \varphi_{Hz}(r,z) = \frac{\pi}{2} + \frac{\pi\omega\sigma}{c^2}r^2;\ \varphi_{Hr}(r,z) = \frac{\pi}{2} + \frac{1}{2}\frac{\pi\omega\sigma}{c^2}r^2.$$

где $a = \frac{\pi^2\varpi^2}{c^4}$, $b = \frac{1}{L}\arccos\left(\frac{H_z(0,L_1)}{H_z(0,0)}\right)$, L_1 - длина расчетной области, I_0, I_1 - модифицированные функции Бесселя нулевого и первого порядка.

Особую важность эти аналитические выражения приобретают при расчете удельной электропроводности σ вблизи оси плазмоида (то есть при $r\to 0$), так как при ее аппроксимации возникает неопределенность четвертого порядка, которая может привести к численной расходимости схемы в области малых значений радиальной координаты r. Поэтому значения H_z для первых двенадцати точек вблизи точки r=0 заменялись соответствующей аналитической зависимостью

Границы расчетной области находились в пределах от r=0 см на оси индуктора до r=3,2 см вблизи стенки индуктора по координате r, и по координате z от z=0 см в центральном сечении индуктора и до z=7 см на выходе индуктора. Шаг Δr по координате r и Δz по координате z принимался равномерным и был равен 0,1 см.

После решения системы уравнений результаты этого решения вблизи оси (а именно до r=1,1 см) заменялись для каждого сечения результатами расчета по аналитическим зависимостям $E_\varphi(r,z)$, $\varphi_E(r,z)$, $H_z(r,z)$, $\varphi_{Hz}(r,z)$, $H_r(r,z)$, $\varphi_{Hr}(r,z)$.

Решение уравнений Максвелла дает значения удельной электропроводности σ.

Давление полагалось равным атмосферному. Найденные значения σ используются в дальнейшем для вычисления значений температур плазмы внутри разрядной камеры по известной зависимости σ(T) [8]. Значения функции σ(T) заданные в этой работе в виде таблицы также аппроксимировались кубическим сплайном.

Используя рассчитанные значения σ и E_φ, по формулам

$$j = \sigma E_\varphi;$$

$$W = \frac{1}{2}\sigma E_\varphi^2$$

можно также определить плотность тока *j* и удельную мощность тепловыделения *W*.

Расчеты проводились для воздушной плазмы

На рис. 2. представлены графики радиальных распределений температур для различных сечений разрядной камеры плазмотрона, рассчитанные по предложенной модели.

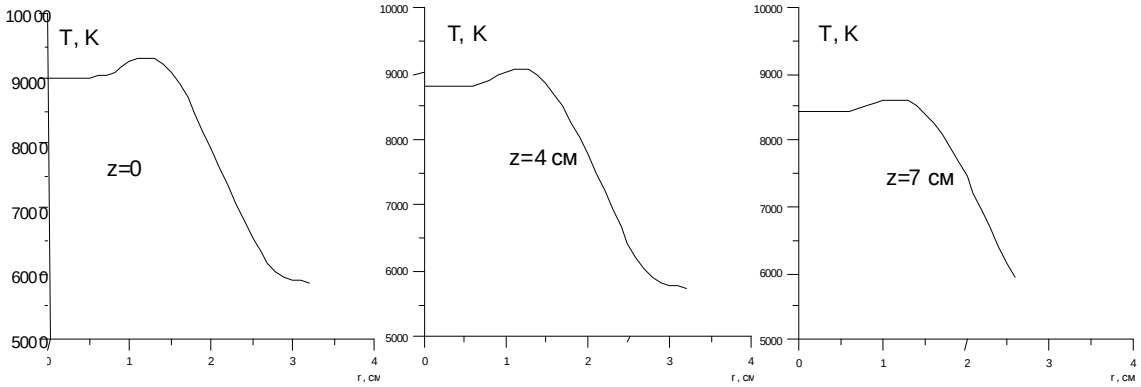


Рис.2. Радиальные распределения температуры в различных сечениях газоразрядной камеры

Как видно из рис. 2, распределения температур имеют характер “плато” вблизи оси разряда, что хорошо согласуется с многочисленными экспериментальными данными. Полученные температурные профили также качественно и по порядку величин согласуются с результатами численных расчетов авторов [9], выполненных для воздушной плазмы.

Распределения температуры имеют максимум в центральной зоне разряда, несколько смещенный к оси индуктора. По направлению к торцевой части плазмоида (с увеличением координаты *z*) наблюдается плавный спад температуры. Также можно отметить, что максимальное значение удельной электропроводности соответствует максимальному значению температуры. Из рисунков также видно, что минимальное значение температуры находится на расстоянии, равном радиусу плазмоида, где происходит большое поглощение энергии электромагнитного поля.

Радиальные распределения удельной электропроводности σ, плотности тока *j* и удельной мощности тепловыделения *W* для трех сечений газоразрядной камеры представлены на рис. 3.

Как видно из рис. 3, плотность тока j и удельная мощность тепловыделения *W*, как и температура и электропроводность имеют максимумы. Однако они несколько смещены относительно максимума температуры и электропроводности в сторону стенок камеры.

С точки зрения физики полученный результат объясняется тем, что джоулево тепло, выделяющееся в скин-слое, отводится во внешнюю область разряда всеми возможными механизмами теплообмена, включая как его конвективную, так и кондуктивную составляющие, в то время как во внутреннюю (по отношению к скин-слою) область разряда - в основном лишь механизмом кондуктивного переноса тепла. Кроме того, того данный результат можно объяснить аналитически [10]. Согласно [10] максимум плотности тока должен находиться в области отрицательных значений $\frac{\partial \sigma}{\partial r}$. максимум удельной энергии тепловыделения должен находиться области

отрицательных значений $\frac{\partial j}{\partial r}$, что и подтверждается графиками, представленными на рис.3

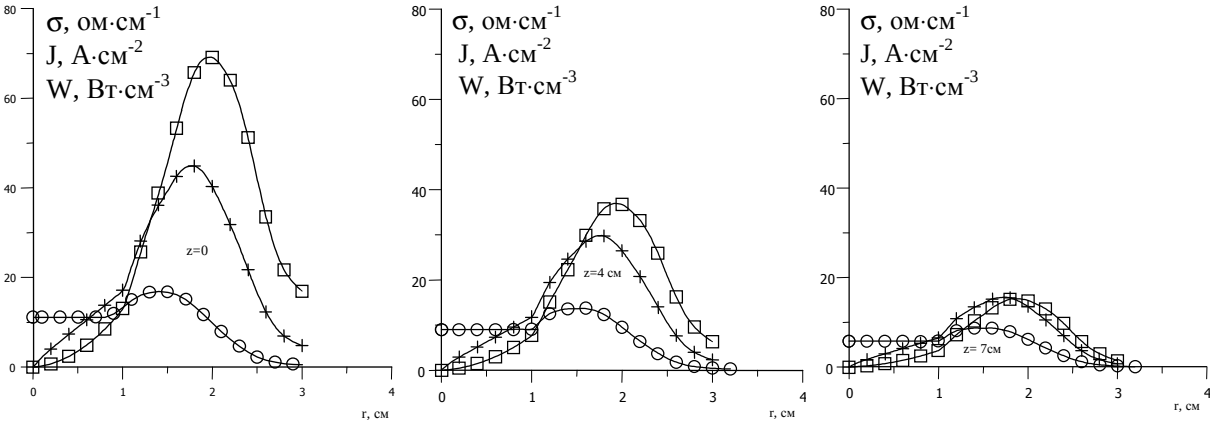


Рис. 3. Радиальное распределение удельной электропроводности σ - (○), плотности тока *j* - (+) и удельной мощности тепловыделения *W* - ( ) для различных сечений газоразрядной камеры.

Предложенная сопряженная физико-математическая модель позволяет рассчитать основные электромагнитные и теплофизические параметры плазмы в газоразрядной камере ВЧИ-плазмотрона и восстановить структуру разряда, используя минимальную экспериментальную информацию о профиле продольной составляющей напряженности магнитного поля в разряде.

Результаты, полученные в данной работе, могут быть полезны широкому кругу специалистов в различных областях физики и техники низкотемпературной индукционной плазмы.

Список литературы: 1. Рыкалин Н.Н., Сорокин Л.М. Металлургические ВЧ-плазмотроны. Электро- и газодинамика. - М.: Наука, 1987. – 164 с. **2.** Дресвин С.В. Основы теории и расчета высокочастотных плазмотронов. - Л.:Энергоатомиздат, 1991. - 312 с. **3.** Спектральный анализ чистых веществ/ Под ред. Зильберштейна Х. И. СПб.: Химия, 1994. 335 с. **4.** Залогин Г.Н., Землянский Б.А., Кнотько В.Б., и др. Высокочастотный плазмотрон – установка для исследований аэрофизических проблем с использованием высокоэнтальпийных газовых потоков // Космонавтика и ракетостроение. 1994. № 2. С. 22-32. **5.** Марчук Г.И. Методы вычислительной математики. - М.: Наука, 1980. - 608 с. **6.** Кирпичников А.П. Структура квазистационарного электромагнитного поля высокочастотного индукционного разряда вблизи оси плазменного сгустка // ТВТ. 1995. № 1. Т. 33. С.139-140. **7.** Кирпичников А.П., Герасимов А.В. Структура высокочастотного индукционного разряда вблизи оси плазмоида в случае индуктора конечных размеров // “Плазмотехнология-95”. Сб. Научн. Трудов. Запорожье, 1995. С. 28-29. **8.** Кринберг И.А. Электропроводность воздуха в присутствии примеси //ПМТФ. 1965. № 1. С. 76-79. **9.** Сошников В.Н., Трехов Е.С. К теории высокочастотного вихревого разряда высокого давления II // ТВТ. 1966. № 3. Т. 4. С. 324-327. **10.** Герасимов А.В., Кирпичников А.П. О структуре высокочастотного индукционного разряда // ТВТ. 1999. № 5. Т. 37. С. 833-834.

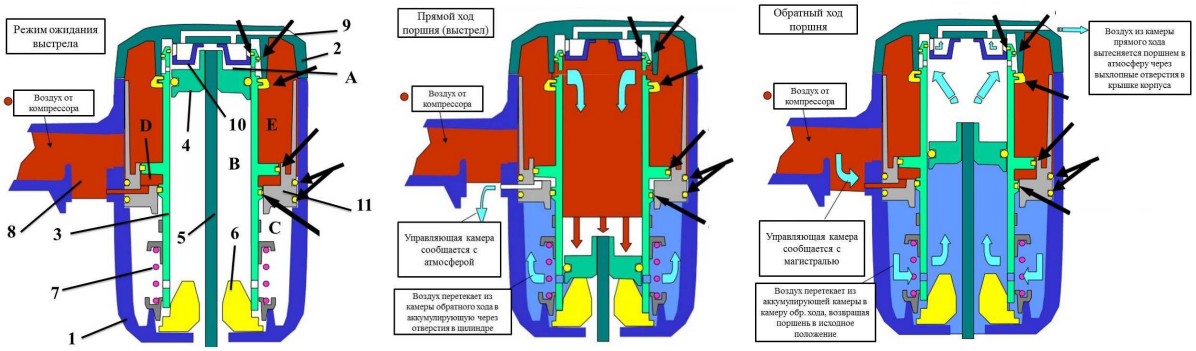
МЕТОДИКА СИНТЕЗА ОПТИМАЛЬНОГО ПАРАМЕТРИЧЕСКОГО РЯДА ИМПУЛЬСНЫХ ПНЕВМАТИЧЕСКИХ ПРИВОДОВ ДЛЯ ГВОЗДЕЗАБИВНЫХ ПИСТОЛЕТОВ

Гненный А.А. (*МГСУ, г. Москва, Россия)*
Тел. +7 (916) 5977128; E-mail: agnennyy@gmail.com

Abstrac:. *The technique and the result of development of the optimal parametric series of pulse pneumatic actuators with long-term movement of the piston used in the construction of nail guns are presented. The optimization of the members of the series is based on minimizing the costs in the production and operation during the life cycle of the gun.*
Key words: *parametric series, pneumatic drive, nail gun, mathematical modeling.*

Импульсные пневматические приводы с продолжительным перемещением поршня, перемещение которого встречает нарастающее сопротивление, используют достаточно широко, как в составе технологического оборудования, так и как самостоятельный инструмент. Одним из наиболее ярких примеров такого инструмента является пневматический гвоздезабивной пистолет. Для работы таких пистолетов необходим сжатый воздух с рабочим давлением от 0,4 до 0,8 МПа (4…8 бар).

Несмотря на многообразие выпускаемых гвоздезабивных пистолетов, применяемые в них импульсные пневматические приводы имеют принципиально единую схему работы (рис. 1).



а б в

Рис. 1. Принцип работы импульсного пневматического привода гвоздезабивного пистолета: а – режим ожидания; б – рабочий режим; в – режим обратного хода; 1 – корпус; 2 – крышка корпуса; 3 – цилиндр; 4 – поршень; 5 – шток; 6 – амортизатор; 7 – пружина; 8 – место установки курка; 9 – выхлопное отверстие; 10 – улавливатель; 11 – перемычка; *A* – камера прямого хода; *B* – камера обратного хода; *C* – аккумулирующая камера; *D* – управляющая камера; *E* – магистральная камера (стрелками указаны места установки уплотнительных элементов)

Импульсный пневматический привод гвоздезабивного пистолета работает следующим образом: в режиме ожидания выстрела управляющая камера *D* сообщается с магистралью, вследствие чего цилиндр 3 отжимается пружиной 7 в верхнее положение, при котором камера прямого хода *A* через отверстия в цилиндре и выхлопные отверстия 9 в крышке 2 сообщается с атмосферой. Поршень 4 в сборе со штоком 5 удерживаются в верхней мертвой точке за счет улавливателя 10. При нажатии на спусковой курок пистолета (при рабочем положении предохранительного устройства) управляющая камера *D* сообщается с атмосферой, за счет чего цилиндр 3 смещается в нижнюю

мертвую точку под действием давления воздуха в магистральной камере *E*, перекрывая выхлопные отверстия и сообщая камеру прямого хода *A* с магистральной камерой *E* через отверстия в цилиндре 3. Под действием давления поршень 4 со штоком 5 движется вниз, преодолевая силу сопротивления со стороны забиваемого гвоздя. Воздух из камеры обратного хода *B* устремляется в аккумулирующую камеру *C* через отверстия в нижней части цилиндра 3, сжимаясь и запасая потенциальную энергию. Процесс продолжается до соударения поршня 4 об ограничитель в виде амортизатора 6. При обратном ходе управляющая камера *D* вновь сообщается с магистралью, цилиндр 3 занимает верхнее положение, а поршень 4 движется вверх под действием сжатого воздуха, перетекающего из аккумулирующей камеры *C* в камеру обратного хода *B*, при этом воздух из камеры прямого хода *A* вытесняется в атмосферу через выхлопные отверстия 9. Процесс заканчивается после возврата поршня 4 в гнездо улавливателя 10.

Математическая модель, описывающая движение поршня в цилиндре импульсного пневматического привода гвоздезабивного пистолета, представлена системой дифференциальных уравнений [1]:

$$\begin{cases} \dot{P}_1 = \dfrac{k}{s_1[x+H_0(t)]}\{R[T_0G_{01}(P_0,P_1,T_0,t)-T_1G_{13}(P_1,P_3,T_1,x)]-P_1s_1\dot{x}\}; \\ \dot{T}_1 = \dfrac{T_1}{P_1s_1[x+H_0(t)]}\left[\begin{array}{l}\left(k-\dfrac{T_1}{T_0}\right)RT_0G_{01}(P_0,P_1,T_0)- \\ -(k-1)RT_1G_{13}(P_1,P_3,T_1,\Delta x)-(k-1)P_1s_1\dot{x}\end{array}\right]; \\ \dot{P}_2 = \dfrac{k}{(s_1-s_2)(x^*-x)}\left\{\begin{array}{l}R[-T_2G_{24}(P_2,P_{атм},T_2)-T_2G_{23}(P_2,P_3,T_2)]- \\ -P_2(s_2-s_1)\dot{x}\end{array}\right\}; \\ \dot{T}_2 = \dfrac{T_2}{P_2(s_1-s_2)(x^*-x)}\left[\begin{array}{l}-(k-1)RT_3G_{24}(P_2,P_{атм},T_2)- \\ -(k-1)RT_3G_{23}(P_2,P_3,T_2)-(k-1)P_2(s_2-s_1)\dot{x}\end{array}\right]; \\ \dot{P}_3 = \dfrac{k}{V_{\text{const}}}\{R[T_1G_{13}(P_1,P_3,T_1,x)-T_2G_{23}(P_2,P_3,T_2)]\}; \\ \dot{T}_3 = \dfrac{T_3}{P_3V_{\text{const}}}\left[\left(k-\dfrac{T_3}{T_1}\right)RT_1G_{13}(P_1,P_3,T_1,x)+\left(k-\dfrac{T_3}{T_2}\right)RT_2G_{23}(P_2,P_3,T_2)\right]; \\ \ddot{x} = \dfrac{1}{m_{\text{п}}+\delta_1(x,\dot{x})m_{\text{гв}}}\left[P_1s_1-P_2(s_1-s_2)-\text{sign}(\dot{x})F_{\text{тр}}-\delta_1(x,\dot{x})F_{\text{вн}}-\delta_2(x,\dot{x})F_{\text{а}}\right]. \end{cases} \quad (1)$$

где $H_0(t)$ – высота рабочей камеры, м; $m_{\text{м}}$ – масса поршня, кг; $m_{\text{гв}}$ – масса гвоздя, кг; s_1 – площадь поршня, м^2; s_2 – площадь штока, м^2; Δ – толщина поршня (и координата столкновения штока со шляпкой гвоздя), м; $l_{\text{гв}}$ – длина гвоздя, м; f – ход амортизатора, м; $F_{\text{тр}}$ – сила трения поршня о цилиндр, Н; $F_{\text{а}}$ – сила амортизатора, Н; $F_{\text{вн}}$ – сила внедрения гвоздя в материал, Н; f_{ij}, μ_{ij}, G_{ij} – соответственно площади отверстий [м^2], коэффициенты расхода и функции расхода [м^3/с] при перетекании воздуха из камеры i в камеру j (0 – магистраль; 1 – рабочая камера прямого хода; 2 – камера обратного хода; 3 – амортизационная камера, 4 – атмосфера); P_i – давление в камерах или в магистрали, Па; T_i – температура в камерах или в магистрали, К; k – показатель адиабаты; R – газовая постоянная, Дж/(кг К); V_{const} – объем амортизационной камеры, м^3; $x_{\text{кл}}$ – координата положения клапана, м; x^* – максимальный ход поршня, м; $\delta_{1,2}$ – операторы, каждый из которых за время цикла может иметь по два значения (1 при

$\Delta \le x < x^*$ в случае $x > 0$; $\delta_1 = 0$ при других значениях x в случае $x > 0$ и при любом x в случае $\dot{x} < 0$; 1 при $\Delta + l_{гв} < x < x^*$; $\delta_2 = 0$ при других значениях x).

Расходы газа в математической модели (1) определяются по формуле Сен-Венана и Ванцеля, сопротивления внедрению гвоздя принимаютя пропорциональными периметру его сечения и глубине внедрения [2].

Первый этап синтеза оптимального параметрического ряда импульсных пневматических приводов для гвоздезабивных пистолетов предполагает численное интегрирование системы уравнений (1) при различных значениях диаметра поршня, длины гвоздя, а также силы внедрения. Условием успешно подобранных параметров данного типоразмера является наличие достаточного запаса кинетической энергии поршня для полного внедрения гвоздя, исходя из уравнения энергетического баланса

$$A_{пр.х} - A_{сопр.} - A_{акк.} - E_{кин} = 0, \qquad (2)$$

где $A_{пр.х.} = P_1 s_1 X$ – работа, совершаемая в камере прямого хода; X – перемещение поршня; $A_{сопр.} = F_{вн} X$ – работа сил сопротивления при внедрении гвоздя в материал; $A_{акк.} = P_2 (s_1 - s_2) X$ – работа, совершаемая в аккумулирующей камере; $E_{кин.} = \frac{m_n \dot{x}^2}{2}$ – остаточная кинетическая энергия поршня в конце рабочего цикла при $X = x^*$.

В результате численного интегрирования системы уравнений (1) с учетом уравнения энергетического баланса (2) при различных значениях диаметра поршня, длины гвоздя, а также силы внедрения, реализованного в программном пакете MathCad был синтезирован базовый параметрический ряд импульсных пневматических приводов для гвоздезабивных пистолетов, позволяющих забивать гвозди в диапазоне длин от 32 до 100 мм. Принятая величина рабочего давления 5 атм. Базовый ряд включает 14 типоразмеров (табл. 1).

Таблица 1. Базовый параметрический ряд импульсных пневматических приводов

№ типоразмера	1	2	3	4	5	6	7
Объем камеры, л	0,042	0,045	0,054	0,083	0,127	0,127	0,132
Диапазон размеров гвоздей, мм	2×32	2×40	2,5×40	2,5×50	2,5×60	3×50	3×60
	-	2×32	2×32	2×32	2×32	2,5×40	2,5×40
Расход воздуха, л	0,254	0,265	0,31	0,433	0,565	0,565	0,582
Работа, Дж/сила, Н	12/375	17/425	20/500	26/520	31/517	31/517	32/533
Средняя мощность, Вт/цикл	1818	2576	3077	4000	4697	4697	4848
№ типоразмера	8	9	10	11	12	13	14
Объем камеры, л	0,17	0,181	0,195	0,209	0,246	0,264	0,291
Диапазон размеров гвоздей, мм	3×70	3×75	3,5×70	3,5×75	3,5×90	4×90	4×100
	2,5×40	2,5×40	3×50	3×50	3×50	3,5×70	3,5×70
Расход воздуха, л	0,684	0,723	0,738	0,78	0,876	0,888	1,011
Работа, Дж/сила, Н	37/529	38/507	38/543	40/533	43/478	45/500	49/490
Средняя мощность, Вт/цикл	5286	5205	5352	5556	5443	5625	5698

В условиях свободного выбора одного или другого типоразмера гвоздезабивного пистолета для работ с заданным размером гвоздей (табл. 2), можно поставить задачу оптимизации базового параметрического ряда импульсных пневматических приводов для гвоздезабивных пистолетов на основе экономического критерия.

Таблица 2. Таблица применимости типоразмеров базового параметрического ряда импульсных пневматических приводов для гвоздезабивных пистолетов

Размер гвоздя, мм									
2,5×60	3×50	3×60	3×70	3×75	3,5×70	3,5×75	3,5×90	4×90	4×100
Порядковый номер типоразмера пневматического привода (см. табл. 1)									
5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
6	7	8	9	10	11	12	13	14	
7	8	9	10	11	12	13	14		
8	9	10	11	12	13	14			
9	10	11	12		14				
	11	12							
	12								

Второй этап синтеза оптимального параметрического ряда импульсных пневматических приводов для гвоздезабивных пистолетов предполагает симплификацию полученного базового параметрического ряда импульсных пневматических приводов (см. табл. 1) на основе функции суммарных затрат в сфере производства и эксплуатации проектируемого гвоздезабивного пистолета за весь жизненный цикл [4]

$$Z_{\text{сум.}} = Z_{\text{м}} + \frac{Z_{\text{пр.}}}{B^b} + Z_{\text{эн.}}, \qquad (3)$$

где $Z_{\text{м}}$ – стоимость материалов, руб.; $Z_{\text{пр}}$ – затраты на изготовление без учета стоимости материалов, руб.; $Z_{\text{эн}}$ – затраты на электроэнергию за все время эксплуатации, руб; B – программа производства данного типоразмера пистолета, шт./год; b – показатель степени зависимости снижения себестоимости от серийности производства.

Исходные данные, используемые при расчетах слагаемых целевой функции (3), представлены в табл. 3 – 5.

Таблица 3. Расчетная материалоемкость и стоимость материалов

Порядковый номер типоразмера пневматического привода (см. табл. 1)									
5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Материалоемкость рабочего цилиндра, г									
165	165	169	185	188	195	198	212	212	226
Расчетная материалоемкость гвоздезабивного пистолета, кг									
2,8	2,8	2,9	3,1	3,2	3,3	3,4	3,6	3,6	3,8
Расчетная стоимость материалов, руб.									
1120	1120	1160	1240	1280	1320	1360	1440	1440	1520

Таблица 4. Затраты на изготовление гвоздезабивного пистолета без учета стоимости материалов

Порядковый номер типоразмера пневматического привода (см. табл. 1)									
5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Капитальные затраты на изготовление рабочего цилиндра привода, руб.									
706	706	706	752	752	752	775	775	844	897
Капитальные затраты на изготовление гвоздезабивного пистолета, руб.									
7060	7060	7060	7520	7520	7520	7750	7750	8440	8970

Материалоемкость и время, затрачиваемое на механическую обработку деталей, определялось методами компьютерного моделирования в системах автоматизированного проектирования и подготовки производства КОМПАС 3D и SprutCAM.

При расчете электроэнергии, потребляемой за один рабочий цикл, было принято среднее значение $1{,}57\times10^{-4}$ кВт·ч/л; стоимость 1 кВт·ч электроэнергии 4,65 руб. (табл. 5). Срок службы гвоздезабивного пистолета принят равным двум годам при нагрузке 8000 выстрелов в неделю (всего 912000 крепежных элементов за срок службы).

Таблица 5. Затраты на электроэнергию за срок службы пистолета

Порядковый номер типоразмера пневматического привода (см. табл. 1)									
5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Общий расход сжатого воздуха через пневматический привод за цикл, л									
1,58	1,58	1,63	1,92	2,02	2,07	2,18	2,45	2,49	2,83
Расход электроэнергии за цикл, $\times10^{-4}$ кВт ч									
2,48	2,48	2,56	3,01	3,17	3,25	3,42	3,85	3,91	4,44
Затраты на электроэнергию за срок службы, руб.									
1052	1052	1085	1278	1345	1378	1451	1631	1658	1884

Поиск рациональных значений целевой функции (3) подразумевает выбор размерного ряда пневматических приводов $L_1, L_2, ..., L_j$, где $j = N_{\max}$, исходя из условий:

$$\sum_{j=1}^{N_{\max}} \left(Z_{\text{сум.}\,j} B_j\right) \to \min; \qquad \sum_{j=1}^{N_{\max}} B_j = B_{\text{сум.}} \tag{4}$$

где j – порядковый номер члена ряда; L_j – номер типоразмера пневматического привода (см. табл. 2); $B_{\text{сум.}}$ = 30000 – годовая программа производства по всем типоразмерам приводов, шт./год.

Задача оптимизации была реализована в программной среде MathCAD по специально написанной программе. В результате симплификации базового ряда импульсных пневматических приводов по заданной целевой функции (3) с использованием условий поиска её рациональных значений (4) был получен оптимальный ряд, содержащий следующие шесть типоразмеров: 4; 7; 10; 12; 13; 14 (см. табл. 2). Значение целевой функции $Z_{\text{сум.}}$ = 191 999 855 руб. Ожидаемый годовой экономический эффект от реализации оптимального параметрического ряда гвоздезабивных пистолетов для диапазона длин гвоздей 2,5×60…4×100 мм по сравнению с базовым рядом составит 4 795 455 руб.

Список литературы: 1. Гненный А.А., Степанов В.В., Дроздов А.Н. Уточнение рабочих параметров математической модели цикловых пневматических машин и проверка её адекватности (на примере строительных монтажных пистолетов) // Интернет-журнал «НАУКОВЕДЕНИЕ». - Том 9. - №1 (2017). [Электронный ресурс]. http://naukovedenie.ru/PDF/62TVN117.pdf. **2.** Гненный, А.А. Экспериментальное определение рабочего усилия пневматического монтажного пистолета // Механизация строительства. – 2016. – № 11. – С. 50–53. **3.** Гненный А.А., Дроздов А.Н., Степанов В.В., Разработка типоразмерных рядов строительных монтажных пистолетов // Механизация строительства. – 2016. – № 11. – С. 41–45. **4.** Гненный А.А., Дроздов А.Н., Степанов В.В. Оптимизация параметрического ряда машин на примере строительных гвоздезабивных пистолетов // Механизация строительства.– 2016. – № 10. – С. 39–42.

ТОЧНОСТЬ ЭЛЕКТРОЭРОЗИОННОЙ ОБРАБОТКИ

Голубов Н.В., Горобец И.А., Мугандин В.К. (*ДонНТУ, г. Донецк, ДНР*)
Тел./Факс: +38 (062) 3050104; E-mail:gollobov@mail.ru

Abstract: *The article deals with the accuracy of electro-erosion processing. Factors influencing the accuracy of processing are revealed, their effect on the total error of processing is shown.*
Key words: *processing, discharge, parameters, accuracy, dependence, error.*

Существует довольно много различных способов, применяемых для изменения размеров, формы, качества металла. Некоторые позволяют существенно повысить качество поверхности и ускорить процесс изменения размеров. Электроэрозионная обработка – способ изменения формы, размеров, показателя шероховатости, свойств поверхности, который заключается в воздействии электрического разряда на заготовку при использовании электрода-инструмента.

Схема электроискрового станка с генератором импульсов RC показана на рис. 1. Конденсатор С, включенный в зарядный контур, заряжается через резистор R от источника постоянного тока напряжением 100-200 В. Когда напряжение на электродах 1 и 3, образующих разрядный контур, достигнет пробойного, образуется канал проводимости, через который осуществляется искровой разряд энергии, накопленной конденсатором. Продолжительность импульса составляет 20-200 мкс.

При увеличении емкости конденсатора накапливаемый в нем запас энергии увеличивается и, следовательно, повышается производительность процесса. В зависимости от количества энергии, расходуемой в импульсе, режим обработки делят на жесткий или средний - для предварительной обработки и мягкий или особо мягкий - для отделочной обработки. Мягкий режим обработки позволяет получать размеры с точностью до 0,002 мм при шероховатости поверхности 0,63-0,16 мкм.

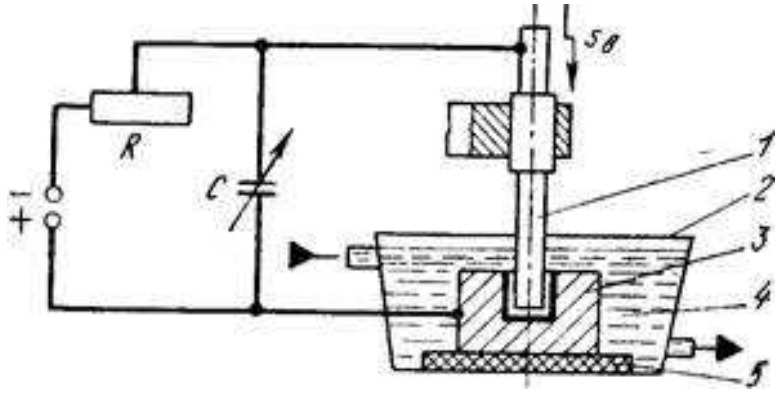


Рис. 1. Схема электроискрового станка:
1 - электрод-инструмент; 2 - ванна; 3 - заготовка-электрод;
4 - диэлектрическая жидкость; 5 - изолятор

Для оценки суммарной погрешности Δ_Σ электроэрозионной обработки суммируют погрешности $\Delta_и$ изготовления электрода-инструмента, его износ $\Delta_э$ и систематические погрешности $\Delta_{м.о}$, свойственные электроэрозионной и механической обработке, а также учитывают случайные погрешности $\Delta_ф$ формы и размеров углублений на заготовке относительно электрода-инструмента и случайные погрешности Δ_1 присущие любому виду обработки [1]:

$$\Delta_\Sigma = \Delta_{м.о} + \Delta_и + \Delta_э + k\sqrt{\Delta_1^2 + \Delta_ф^2},$$

где k - коэффициент кривой рассеивания размеров (для закона нормального распределения k = 1/9).

Основными параметрами электроэрозионной обработки влияющими на точность являются [2]:

- время включения импульса τ_{on};
- скважность q;
- время выключения импульса τ_{off};
- расход жидкости Q;
- среднее напряжение в межэлектродном промежутке $U_{ср\delta}$.

Характер влияния основных параметров электроэрозионной обработки на суммарную погрешность Δ_Σ показан на рис. 2 [2].

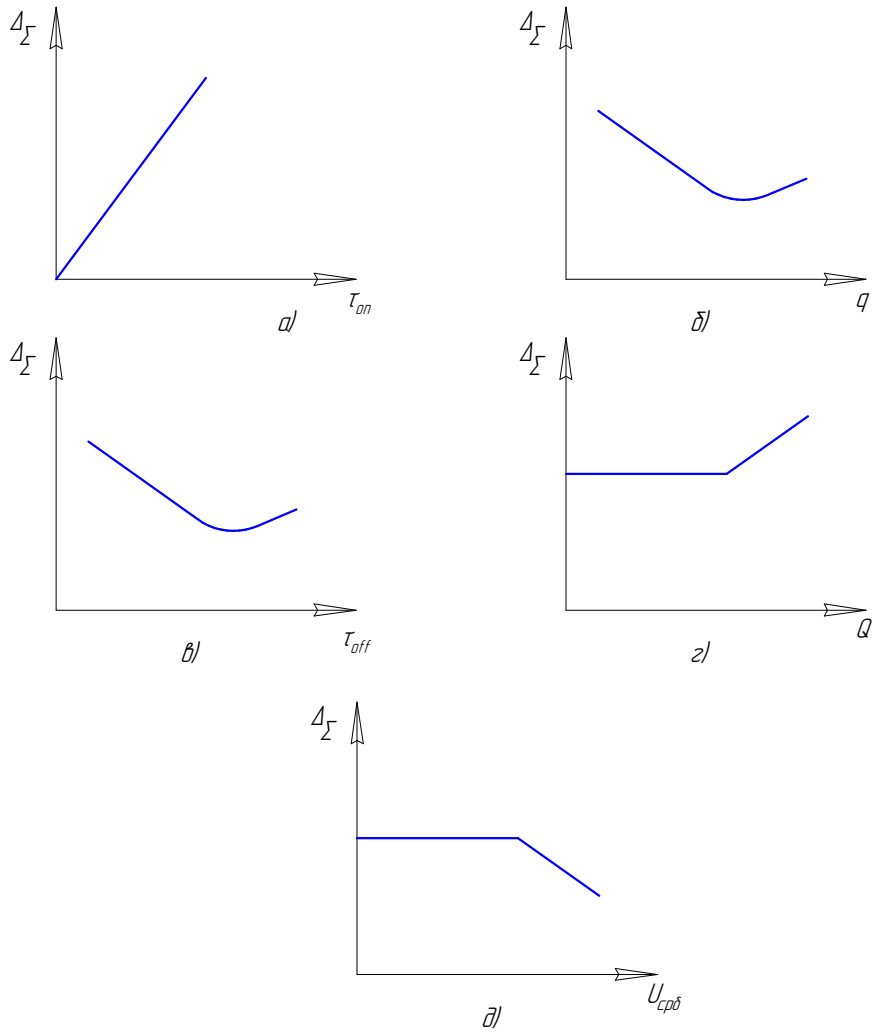


Рис. 2. Характер влияния основных параметров электроэрозионной обработки на суммарную погрешность Δ_Σ: *а* - влияние времени включения импульса τ_{on}; *б* - влияние скважности q; *в* - влияние времени выключения импульса τ_{off}; *г* - влияние расхода жидкости Q; *д* - влияние среднего напряжения в межэлектродном промежутке $U_{ср\delta}$;

На точность обработки оказывает существенной влияние также энергия импульса. Характер влияния энергии импульса при обработке отверстий в стали 40Х показан на рис. 3 и 4[3].

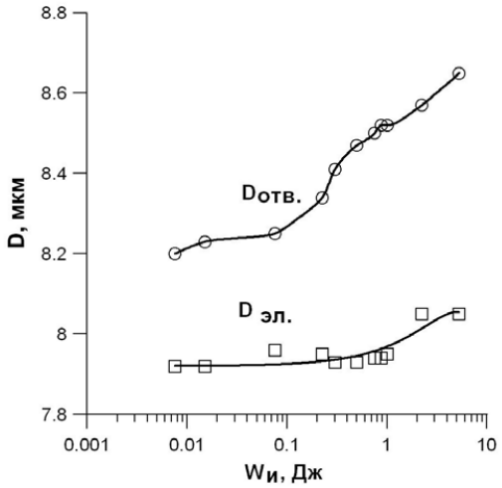


Рис. 3. Зависимость диаметра отверстия и диаметра электрода от энергии импульса

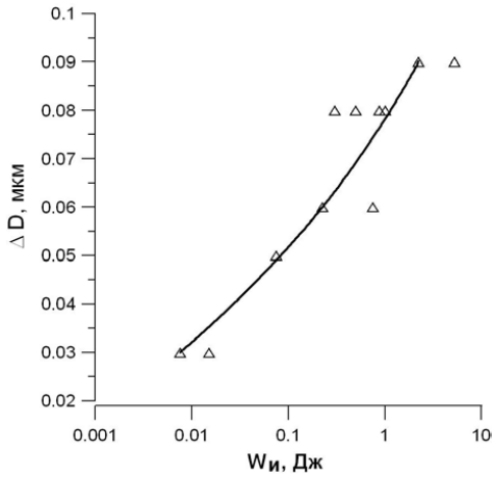


Рис. 4. Зависимость отклонения от диаметра отверстия от энергии импульса

Наибольшее влияние на точность электроэрозионной обработки оказывают точность изготовления электрода-инструмента и его износ вследствие эрозии. Погрешности, обусловленные износом, могут быть учтены при проектировании электрода-инструмента (размеры корректируют с учетом износа) и построении плана обработки. При этом заданный профиль поверхности и соответствующие размеры можно получить тремя способами:

- корректированием размеров электрода-инструмента в соответствии с его износом при обработке;
- путем использования при работе нескольких одинаковых электродов-инструментов, изготовленных без учета износа. Последовательно заменяя в процессе обработки изношенные электроды-инструменты новыми, всегда можно получить требуемую форму и размеры с высокой степенью точности;
- сочетанием первого и второго способов.

Это позволяет значительно уменьшить потребное количество инструментов и обеспечить высокую производительность обработки, особенно при изготовлении большой партии одинаковых деталей.

В зависимости от технологической схемы и режимов точность изготовления деталей при электроэрозионной обработке достигает: при работе профилированным электродом-инструментом на электроискровом режиме - 6-7-го квалитета, непрофилированным - 5-6-го; в случае применения электроимпульсного режима - 9-11-го; при электроконтактной обработке в жидкой среде (шлифование) - 7-8-го; при обработке в воздушной среде (разрезание) - 16-17-го квалитета [1].

Список литературы: 1. Киселев М.Г. Электрофизические и электрохимические способы обработки материалов : учеб. пособие / М.Г. Киселев, Ж.А. Мрочек. А.В. Дроздов. - Минск: Новое знание; М.: ИНФРА-М, 2014.- 389 с. **2.** Абляз**,** Т.Р**.** Современные подходы к технологии электроэрозионной обработки материалов: учеб. пособие / Т.Р. Абляз, А.М. Ханов, О.Г. Хурматуллин. – Пермь: Изд-во Перм. нац. исслед. политехн. ун-та, 2012. – 121 с. **3.** Оглезнев, Н.Д., Абляз, Т.Р., Влияние режимов электроэрозионной обработки на точность получения отверстий / Оглезнев, Н.Д., Абляз, Т.Р.// Известия Самарского научного центра Российской академии наук, том 15, №4(2), 2013 – С. 396–398.

ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ОТНОСИТЕЛЬНЫХ ОПОРНЫХ ДЛИН ШЕРОХОВАТОЙ ПОВЕРХНОСТИ

Горленко О.А., Симкин А.З. *(Брянский ГТУ, г. Брянск, Россия)*
Тел./Факс: +7 (4832) 566211; E-mail: goa-bgtu@mail.ru

Abstract: *The problems of technological ensuring of relative reference lengths in the upper layers of a rough surface.*
Key words: *relative reference lengths, rough surface, technological ensuring.*

Одной из задач конструкторско-технологического обеспечения параметров шероховатости деталей машин является их нормирование, а также выбор методов и назначение технологических режимов обработки, обеспечивающих заданные параметры шероховатости, в частности параметров, обеспечивающих требуемое распределение материала неровностей [1-5].

В соответствии с ГОСТ 2.309-73 (Межгосударственный стандарт. Единая система конструкторской документации. Обозначения шероховатости поверхности) на чертежах деталей шероховатость поверхности регламентируется либо одним из высотных параметром (*Ra*, *Rz* или *Rmax*), либо одним из шаговых параметров (*Sm* или *S*), либо одним из параметров *tp*, характеризующим распределение материала неровностей по высоте, либо совокупностью параметров. Наиболее трудной является задача технологического обеспечения параметров *tp*.

В соответствии с изменённой редакцией ГОСТ 2789-73 (Межгосударственный стандарт. Шероховатость поверхности. Параметры и характеристики) параметр *Rz* (наибольшая высота профиля) определяется как сумма высоты наибольшего выступа профиля *Rp* и глубины наибольшей впадины профиля *Rv* в пределах базовой длины, а параметр *Rmax* (полная высота профиля) − как сумма высоты наибольшего выступа профиля *Rp* и глубины наибольшей впадины профиля *Rv* в пределах длины оценки.

В ряде случаев важные закономерности по технологическому обеспечению параметров шероховатости могут быть выявлены на основе учёта тесноты корреляционных связей между ними. Анализ коэффициентов корреляции, например, между *Ra* и другими параметрами шероховатости поверхностей, обработанных различными методами, показывает, что наиболее тесная связь имеет место между высотными параметрами шероховатости *Ra* и *Rp*, *Ra* и *Rz* (табл. 1). Это означает, что обсечение параметра *Ra* автоматически приводит к получению определённых значений *Rp* и *Rz*, величина которых зависит от приятого технологического метода обработки. То есть каждому технологическому методу обработки присущи определённые зависимости $Rp = k_p Ra$ и $Rz = k_z Ra$.

Анализ экспериментальных данных по исследованию шероховатости обработанных различными методами поверхностей показывает, что параметр *tm* имеет склонность стабилизироваться около некоторых значений, характерных для принятых условий обработки. Так, при лезвийной и абразивной обработках, в том числе инструментами из сверхтвёрдых материалов, деталей из стали $tm = 0{,}44 \ldots 0{,}53$, при такой же обработке деталей из чугуна $tm = 0{,}48 \ldots 0{,}59$, при обработке методами поверхностного пластического деформирования (ППД) деталей из чугуна $tm = 0{,}67$ (табл. 2). При этом k_p изменяется в среднем от 1,67 до 3,48 и k_z – от 5,03 до 7,11.

С учётом известного выражения для параметра, характеризующего кривизну начального участка опорной кривой (рис. 1) $\nu = 2 \cdot 10^{-2} tm \cdot k_p - 1$, где *tm* – относительная опорная длина профиля на уровне средней линии в %, для относительных опорных длин шероховатой поверхности получим

Таблица 1. Коэффициенты парной корреляции *r* между *Ra* и другими параметрами шероховатости для различных методов обработки

Метод обработки (*Ra*, мкм), материал детали	Параметры шероховатости			Критическое значение коэффициента *r*
	Rp	*Rmax*	*tm*	
1. Лезвийная и абразивная (0,22...2,33), чугун СЧ 20	0,939	0,980	0,290*	$r_{19;0,95}$=0,37
2. То же (0,77...2,33)	0,853	0,947	0,158*	$r_{14;0,95}$=0,43
3. ППД (0,09...0,27), чугун СЧ 20	0,909	0,951	0,506	$r_{30;0,95}$=0,30
4. Вибрационная, эластическими алмазными брусками (0,06...0,54), чугун СЧ 20	0,977	0,959	0,205*	$r_{14;0,95}$=0,43
5. Точение резцами из композита (0,63...1,76), чугун СЧ 20	0,801	0,789	0,240*	$r_{6;0,95}$=0,62
6. Планетарное хонингование абразивными брусками (0,23...0,50), сталь 12ХН3А	0,998	0,995	0,567*	$r_{6;0,95}$=0,62
7. Точение резцами из эльбора-Р (0,21...0,93), сталь 45	0,981	0,976	0,402*	$r_{14;0,95}$=0,43
8. То же (0,22...1,41), сталь У10А	0,993	0,978	0,838	$r_{14;0,95}$=0,43

Примечание: * - указывает на отсутствие корреляционной связи

$$tp = tm\left(10^{-2}p \cdot k_z/k_p\right)^{2\cdot 10^{-2}tm\cdot k_p - 1},$$

т.е. распределение материала неровностей в верхних слоях (до уровня средней линии профиля) определяется значениями *tm*, k_z и k_p, обеспечение которых при механической обработке позволяет технологически управлять распределением материала неровностей в верхних слоях.

Выдерживая при механической обработке определённые значения параметров *tm*, k_z и k_p можно технологически обеспечить требуемое распределение материала неровностей в верхних слоях до уровня средней линии (табл. 3).

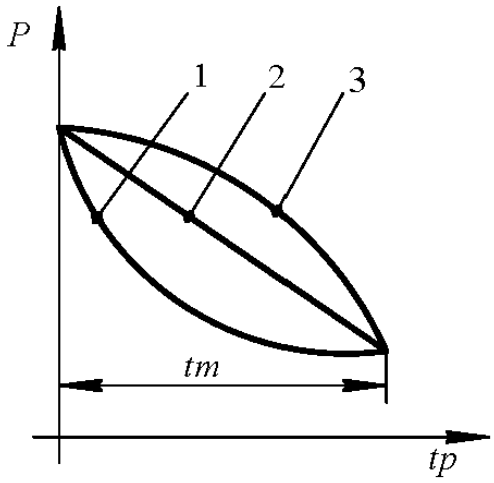


Рис. 1. Характер распределения материала неровностей: 1 – k_p >2 (v>1); 2 – k_p = 2 (v=1); 3 – k_p < 2 (v<1)

Технологическое обеспечение параметров шероховатости на практике возможно на основе применения метода пробных заготовок [6]:

1. Обработка пробной партии заготовок (или пробных поверхностей заготовок) по плану полного 2^k или дробного 2^{k-m} факторного эксперимента, где *k* – число рассматриваемых технологических факторов, влияющих на изменчивость параметров шероховатости, *m* – то же, влияние которых смешано с влиянием взаимодействий факторов. Исходя из того, что число пробных заготовок не должно быть слишком большим, наиболее приемлемыми являются планы полных факторных экспериментов 2^2, 2^3 и дробных – 2^{3-1}, 2^{4-1}.

Таблица 2. Интервалы рассеяния (в числителе) и средние значения в знаменателе) параметров шероховатости

Метод обработки, материал детали	Параметры шероховатости			
	Ra, мкм	k_p	k_z	$tm \cdot 10^{-2}$
1. Лезвийная и алмазно-абразивная, чугун СЧ 20	0,22...2,33 1,10	1,27...2,89 1,97	4,42...7,11 5,80	0,51..0,74 0,58
2. То же	0,77...2,33 1,51	1,27...2,36 1,90	4,42...7,10 5,74	0,52...0,74 0,59
3. ППД, чугун СЧ 20	0,27...1,09 0,62	1,30...2,04 1,67	5,08...8,31 6,97	0,56...0,72 0,67
4. Вибрационная, эластическими брусками, чугун СЧ 20	0,06...0,54 0,23	2,33...3,58 2,94	5,24...8,06 6,44	0,48...0,58 0,53
5. Точение резцами из композита, чугун СЧ 20	0,48...1,76 1,26	2,25...5,24 3,48	4,76...9,52 7,11	0,41...0,55 0,48
6. Планетарное хонингование абразивными брусками, сталь 12ХН3А	0,23...0,50 0,33	3,10...3,25 3,16	5,51...5,94 5,77	0,50...0,51 0,51
7. Точение резцами из эльбора-Р, сталь 45	0,18...0,93 0,48	1,90...3,21 2,47	5,69...8,25 6,80	0,42...0,63 0,53
8. То же, сталь У10А	1,23...2,35 1,74	2,27...3,06 2,66	4,21...6,35 5,03	0,36...0,56 0,44

Таблица 3. Расчётные значения опорных длин *tp* в % и параметра кривизны начального участка опорной кривой шероховатой поверхности *v*

Исходные данные			t_5	t_{10}	t_{20}	t_{30}	*v*
tm, %	k_z	k_p					
50	7,0	3,0	0,7	2,7	10,9	24,5	2,0
		2,5	2,6	7,4	20,9	38,5	1,5
		2,0	8,7	17,5	35,0	52,5	1,0
		1,5	24,1	34,1	48,3	59,2	0,5
	6,0	3,0	0,5	2,0	8,0	18,0	2,0
		2,5	2,1	5,9	16,6	30,5	1,5
		2,0	7,5	15,0	30,0	45,0	1,0
		1,5	22,4	31,6	44,7	54,8	0,5
60	7,0	3,0	0,2	1,4	8,3	23,7	2,6
		2,5	1,2	4,7	18,8	42,3	2,0
		2,0	5,2	13,8	36,4	62,4	1,4
		1,5	18,7	32,6	56,8	78,5	0,8
	6,0	3,0	0,1	0,9	5,5	15,9	2,6
		2,5	0,9	3,4	13,8	31,1	2,0
		2,0	4,2	11,1	29,3	51,8	1,4
		1,5	16,5	28,8	50,2	69,4	0,8
70	7,0	3,0	0,0	0,7	6,1	22,3	3,2
		2,5	0,5	2,9	16,4	45,3	2,5
		2,0	3,0	10,6	36,8	76,4	1,8
		1,5	14,1	30,3	64,9	1,0	1,1
	6,0	3,0	0,0	0,4	3,7	13,6	3,2
		2,5	0,3	2,0	11,2	30,4	2,5
		2,0	2,3	8,0	27,9	57,9	1,8
		1,5	11,9	25,5	54,8	85,5	1,1

Число повторений u при этом также не должно быть слишком большим, поэтому можно рекомендовать принимать в зависимости от плана эксперимента $u = 2, 3, 4$ так, чтобы общее число обрабатываемых заготовок $n = uN = u2^k$ или $n = uN = u2^{k-m}$ не превышало 8 или 16, или, в крайнем случае, 24. Число пробных заготовок может быть значительно сокращено, когда опыты с повторениями, например $u = 4$, проводятся только в центре плана эксперимента (технологические факторы при этом принимают значения $x_j = 0$).

2. Измерение параметров шероховатости $R_1, R_2, \ldots, R_i$ пробных заготовок.

3. Разработка математико-статистической модели способа обработки пробных заготовок, которую можно представить в виде следующей системы уравнений:

$$\begin{cases} \widehat{R_1} = a_{10} + \sum_{1}^{k} a_{1j}x_j ; \\ \widehat{R_2} = a_{20} + \sum_{1}^{k} a_{2j}x_j ; \\ \ldots = \cdots + \cdots ; \\ \widehat{R_\imath} = a_{i0} + \sum_{1}^{k} a_{ij}x_j , \end{cases}$$

где $\hat{R}$ - предсказываемые значения параметра качества; a_{i0} и a_{ij} – коэффициенты; x_j – технологические факторы, определяющие условия обработки $j = 1, 2, \ldots, k$, число факторов $k \geq j$.

Уровни варьирования факторов x_j верхний и нижний, обозначаемые соответственно +1 и –1, принимают на основе опыта и справочных данных по режимам обработки.

Для широкого применения на практике рассматриваемых методов технологического обеспечения параметров шероховатости поверхности ответственных деталей машин необходимо создание портативных контрольно-измерительных систем/

Список литературы: **1.** Суслов, А.Г. Научные основы технологии машиностроения: Научная монография / А.Г. Суслов, А.М. Дальский. – М.: Машиностроение, 2002. – 684 с. **2.** Рыжов, Э.В. Технологические методы повышения износостойкости деталей машин: монография/Э.В. Рыжов. – Киев: Наук. думка, 1984. – 272 с. **3.** Суслов, А.Г. Технологическое обеспечение параметров со-стояния поверхностного слоя деталей: монография / А.Г. Суслов. – М.: Машиностроение, 1987. – 208 с. **4.** Суслов, А.Г. Качество поверхностного слоя деталей машин: монография / А.Г. Суслов. – М.: Машиностроение, 2000. – 320 с. **5.** Суслов, А.Г. Экспериментально-статистический метод обеспечения качества поверхности деталей машин: монография / А.Г. Суслов, О.А. Горленко. – М.: Машиностроение-1, 2003. – 303 с. **6**. Горленко, О.А. Метод пробных заготовок в обеспечении параметров шероховатости поверхности деталей машин / О.А. Горленко // Наукоёмкие технологии в машиностроении. - 2018. - № 2. – С. 9-14.

КРИТЕРИИ ВЫБОРА СРЕДСТВ САПР ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВКИ ПРОИЗВОДСТВА

Горобец И.А., Голубов Н.В., Мишенин А.И.
(ГОУ ВПО ДонНТУ, г.Донецк)
Тел.: +38 (062) 3010805; E-mail: gorobets.ascon@gmail.com

Abstract: *The criteria of choice of the systems of automation of technological preparation of industrial production are set forth. An analysis and explanations of value of criteria of choice are executed CAPP.*
Key words: *automation, criterion, choice, analysis.*

Идея создания САПР, облегчающая труд инженера-технолога по автоматизации расчетов режимов обработки, сварки, наплавки, резки, трудового и материального нормирования, планирования, заполнения технологической документации, появилась во время эксплуатации первых ЭВМ на производстве. В настоящее время CAD (Computer-Aided Design),),CAM (Computer-Aided Manufacturing), CAE (Computer-Aided Engineering), PLM (product lifecycle management)-системы, представляют фундамент CALS (Continuous Acquisition and Lifecycle Support) - технологий. Системы автоматизации проектирования технологической подготовкой производства представлены двумя видами систем: CAM и CAPP (Computer-Aided Process Planning). Рассмотрим разновидности CAPP систем, целью которых является автоматизация проектирования и планирования технологических процессов (САПР ТП).

В настоящее время существует множество современных CAPP-систем известных производителей, но задача выбора и внедрения таких систем является и сегодня актуальной для большинства машиностроительных предприятий СНГ. Большинство из САПР ТП имеет архитектуру, состоящую из информационного центрального модуля и дополнительных, в виде базы данных (технологической оснастки, режимов обработки, нормативно-справочной информации и пр.), модулей, реализующих проектирование технологий, планирование производства (маршрутизации и расцеховки), нормирования материалов и труда, формирования технологической документации, интеграции с CAD/PDM/PLM системами.

Однако, для осуществления задачи выбора одной из множества существующих САПР ТП, необходимо задаться некоторыми критериями [1,2,3]. К таким критериям выбора можно отнести следующие (рис.1):

1. Функционал системы.
2. Соответствие действующим стандартам и нормативам.
3. Системные требования.
4. Стоимость (владения лицензией).
5. Техническая поддержка.

Рассмотрим подробнее сформулированные критерии выбора САПР ТП.

1. *Функционал системы*. В зависимости от характера решаемых задач, типа производства и типа предприятия, к функционалу системы можно отнести ряд требований:

- удобство интерфейса программного средства (критерий хоть и относится к субъективным и индивидуальным, но имеет значение при выборе системы);
- Наполнение в базовой поставке (в том числе по различным видам обработки и выполнению расчетов по вариантам обработки);
- Наличие, возможности и наполнение модулей нормативно-справочной информации (НСИ);

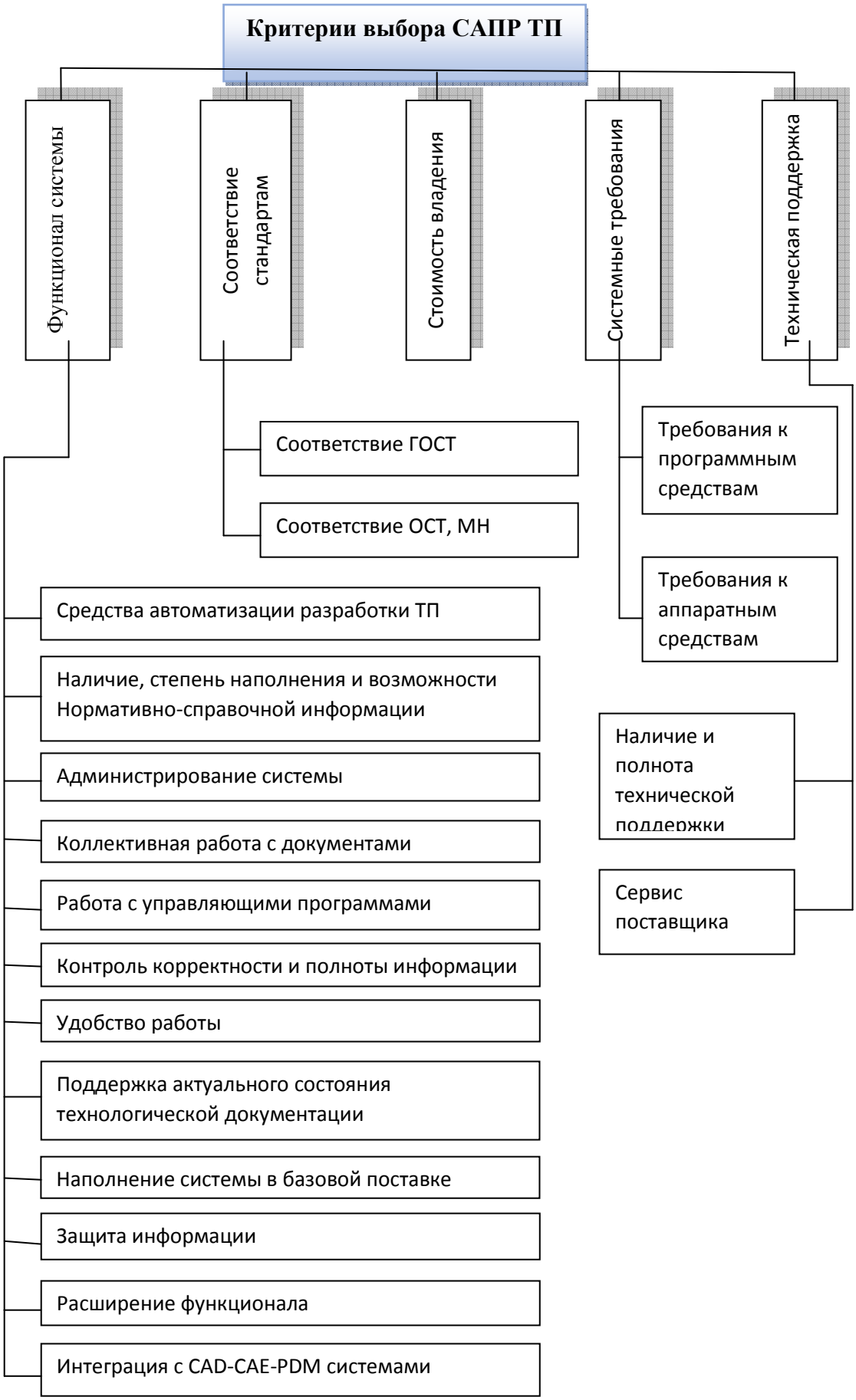


Рис. 1. Критерии выбора САПР ТП

- Возможности коллективной работы над разрабатываемым технологическим процессом, с целью уменьшения времени проектирования;

- Возможность работы с управляющими программами (УП) ;

- Возможности системы по контролю корректности и полноты информации в формируемом документе для реализации самоконтроля и нормоконтроля;

- Наличие и возможности средств автоматизации разработки технологического процесса;

- Возможности администрирования системы;

- Возможности управления изменениями системы;

- Возможности расширения функционала системы;

- Возможность поддержания актуального состояния технологической документации;

- Защита информации;

- Возможность интеграции с CAD/CAM/CAE/PDM системами.

2. *Соответствие действующим стандартам и нормативам*. Возможность выпуска документации в соответствии с требованиями ЕСТД, а также стандартами ISO, ANSI, DIN, в случае работы предприятий с зарубежными партнерами. Наличие русского, украинского, английского, немецкого интерфейса и документации.

3. *Системные требования*. Включают требования к аппаратным и программным средствам и СУБД (системы управления базами данных). Здесь и возможность работы в доминирующей операционной системе (Microsoft – Windows) последних версий, в некоторых случаях – возможность работы в среде Android, IOS, а также требования к выбору СУБД (например, Oracle Database, MS SQL Server, PostgreSQL, Firebird и др.);

4. *Стоимость системы* (владения лицензией САПР ТП, возможности лизинга, годовой подписки и пр.);

5. *Техническая поддержка*. Наличие и полнота Технической поддержки и сервисов поставщика, наличие и возможности команды внедрения у поставщика либо в регионе, стоимость сервисов и технической поддержки.

Таким образом, выбор САПР ТП является сложной задачей для пользователей и менеджмента предприятий. Для решения задачи выбора САПР ТП необходимо руководствоваться разработанными критериями.

Список литературы: 1. Горобец И.А., Грищенко И.Н. Классификация и критерии выбора автоматизированных систем технической подготовки производства - Материалы пятнадцатой научно-практической конференции «Практика и перспективы развития партнерства в сфере высшей школы». В 3-х кн.. - Таганрог. Изд-во ЮФУ. Кн.3 2014 №14–с.47-53. **2.** Горобец И.А., Мишенин А.И., Голубов Н.В. Выбор САРР систем для технологической подготовки производства – Инженер. Студенческий научно-технический журнал – Донецк: ДонНТУ, 2017. № 1(23)-2(24). С.07-10. **3.** Девяткина Е. В., Стайкова Т. Б. О выборе системы автоматизированного проектирования технологических процессов для организации обучения студентов // Молодежь и наука XXI века : материалы XII Всерос. (с междунар. участием) научно-практ. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых (17 мая 2011, г. Красноярск) ; Краснояр. гос. пед. ун-т. Красноярск, 2011.

СОВРЕМЕННАЯ ПРОБЛЕМА РАЗВИТИЯ МАШИНОСТРОЕНИЯ - НЕУДАЧНЫЕ РЕФОРМЫ

Григорьева Н. С., Шабайкович В. А. *(Луцкий национальный технический университет, Украина)*
Тел./Факс: +38 (032) 063-7141115; *E-mail:* vik_shabajkin@ukr.net

Abstract: *The article presents an analysis of the reasons for the unsuccessful reforms, such as: the environment of criminal enrichment, corruption, kickbacks, embezzlement of the budget, lack of work of law enforcement bodies and courts, low qualification of reformers, selection of officials not on professional grounds, but loyalty to the ruling party, consideration of reforms as way of unreasonable enrichment.*
Key words: *reforms, enrichment, corruption, theory of reforms, algorithms.*

Введение. Реформа (лат. *Reformo* - преобразование, изменение) означает улучшение того, что является неправильным, неудовлетворительным, несовершенным и т.п. Реформа может трактоваться, как изменение формы или сути технического объекта ее реализации. Реформа предполагает важные изменения в механизме функционирования объекта, основных принципов, которые ведут к новому результату и получению принципиально нового или лучше инновационного решения. Не следует путать понятия реформа с усовершенствованием или модернизацией, поскольку реформа - это коренной перелом процессов, традиций и т.п. Часто также путают реформу с экспериментом. В Украине проводилось больше неудачных экспериментов, чем реформ.

Постановка проблемы. Современной проблемой развития машиностроения являются неудачные комплексные реформы, касающиеся состояния машиностроения, такие как образовательные, антикоррупционные, налоговые, пенсионные и др. При этом каждая реформа должна быть обоснованной, иметь реальную возможность как в разработке, так и реализации. Инструментом определения объективной необходимости осуществления реформы и ее содержания является отношения специалистов и критиков к реализации тех или иных мероприятий, их следствий, наличие благоприятной среды.

Основной задачей исследования проблем неудачных технических реформ является их анализ с целью устранения не допущения ошибок в будущем.

Изложение основного материала. Сущность качества реформ объясняет механизм их формирования, который можно представить влиянием действующих внутренних и внешних факторов (рис.1). Внешние факторы описывают влияние других реформ внешней среды, зарубежного опыта, которые способствуют или не способствуют формированию основных технико-экономических показателей реформ. Хотя все факторы связаны между собой, но кроме прямого их влияния необходимо учитывать и полноту влияния на реформу. Влияние может быть как полным, так и частичным, осуществляться элементарными или комплексными взаимосвязанными действиями. Важно обратное влияние разрабатываемых реформ на другие реформы, внешнюю среду. Поэтому искусство реформирования и заключается в правильном определении как положительного, так и отрицательного взаимодействия всех факторов, влияющих на качество реформы и определяющих его.

Не способствует качеству реформ их рассмотрение, как средства или способа максимально необоснованного обогащения. Так, например, пенсионная реформа, которую так хвалит руководство государства, в действительности является классической мошеннической схемой [1]. Не отстают от и газовые реформы, за которыми в 2017 году у населения было украдено 65 млрд грн за счет необоснованного в 2,17 раза увеличения налогов с 1338 грн за 1 тыс $м^3$ до 6957 грн [1]. Интересно, куда пошли эти деньги? Большинство реформ, связанных с машиностроением, выполнены непрофессионально и без учета современного уровня развития науки и техники и зарубежного опыта.

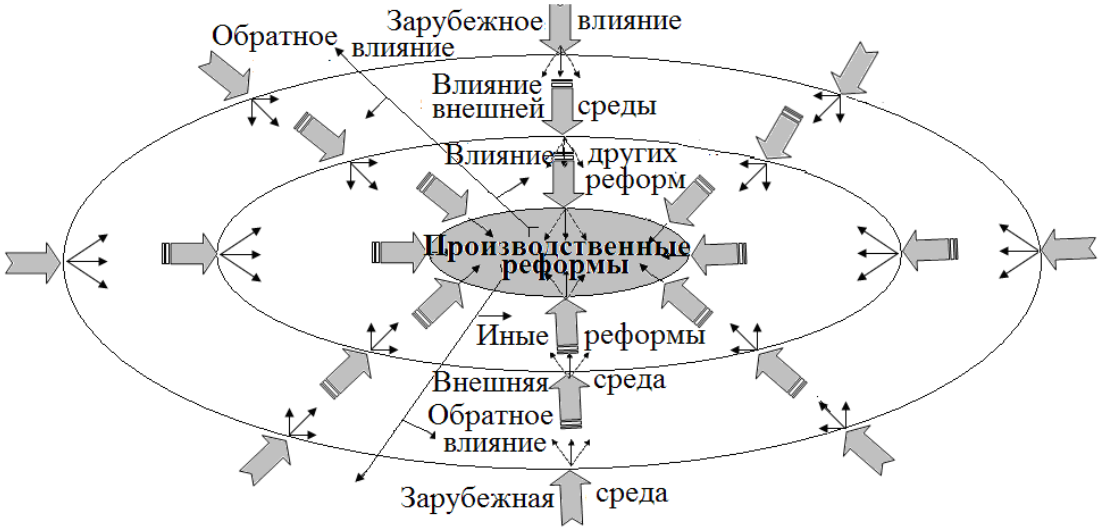


Рис.1. Графическое изображение структуры взаимовлияния внутренних и внешних факторов, определяющих качество сопутствующих машиностроению реформ

Анализ последних публикаций. Публикаций по теме реформирования больше чем достаточно и все они условно могут быть разделены на три группы: которые поддерживают реформы, нейтральные, которым это безразлично и они больше сосредоточены на теоретических вопросах и критические, выступающие против некачественных реформ. Первая группа хвалит любое реформирование и в принципе занимается «подхалимажем», используя будущее время и лозунги. Создается впечатление, что это проплаченные или иным образом заинтересованные псевдо авторы, так как реформы становятся «*худшими и все худшими, и все как одна и все как одна!*», что полностью подтверждает 25-летняя статистика. Третья группа ознаменовалась по словам д.ф-м.н. *О.Грабовича* [2] «дальнейшим одичанием руководства и псевдонаучной братии, которая захватила власть почти во всех соответствующих учреждениях, игнорированием принятых законов, попытками заменять законы новыми правилами *ad hoc* (лат. специально для этого), написанными на колене». По его словам, «такого количества глупости и бесстыдного плагиата в публикациях отечественных невежд еще не видели». Вторая группа публикаций [3] – это пустое переписывание известных положений, плагиат и попытки ошибочных, оторванных от настоящего теоретических опусов. Сейчас украинская наука находится на гране коллапса. В качестве примера, можно привести очередную «акцию» по дальнейшему развалу высшего образования – увольнение работающих здоровых пенсионеров профессоров и доцентов под лозунгом «дорогу молодым!», которых еще нет и их нужно как минимум воспитать. Доценты и профессора освобождаются с должностей заведующих кафедрами, не смотря на их опыт [4].

Неудачные образовательные реформы. Реформы начинаются с образования и науки, поскольку они являются ведущей силой, обеспечивают машиностроение специалистами и наполняются бывшими школьниками или выпускниками техникумов. Поэтому их реформированию должно уделяться основное внимание, но, к сожалению, теперь это - поле деятельности частично отечественных невежд и авантюристов-руководителей, что полностью подтверждается результатами реформирования, осуществленными при экспансии капитала, коррупции и других негативных факторов.

Целый ряд стран мира проводили успешные реформы, которые выводили эти страны на передовые места (Сингапур, Южная Корея, Япония, Турция и другие). Примеров более чем достаточно, но только не для украинских «реформаторов». Вспоминая прошлое, МОН постоянно выдумывало что-то «оригинальное», что на практике снижало качество подготовки специалистов, но создавало впечатление имитации бурной деятельности (ИБД). Из таких последних «значительных судьбоносных» реформ – это бо-

лонский процесс и «компетентностные» поиски качества высшего образования, которые ничего не дали, кроме ее деградации. К «успехам» этой «непревзойденной девятки министров» МОН, несущих полную ответственность за развал образования и науки, однозначно принадлежит созданию закрытой системы высшего образования, в которой вопрос качества подготовки специалистов формируется и проверяется МОН, а не реальными заказчиками образовательных услуг, действительным запросам рынка.

На протяжении 25 лет независимости в Украине была принята масса законов, постановлений, реформ, которые вместо повышения качества образования и подготовки специалистов оказались лишь ИБД. Причин тому довольно много, особенно отрицательное влияние окружающей среды в стране, развал экономики, дикое обогащение, коррупция и т.п., но одна из них кроется в полной некомпетентности МОН, которое в основном и дальше занимается ИБД. Затем проводилось внедрение дуальной системы образования и т.п. Сейчас, к сожалению, можно лишь отметить полную деградацию высшего и среднего образования [5]. Причин довольно много, но основными можно считать необоснованное дикое обогащение, политизацию системы, подбор руководителей и чиновников, особенно в высших звеньях по степени лояльности к руководящим партиям, а не уровню профессионализма, отсутствие эффективного реформирования, обсуждение реформ, полная безответственность за полученные результаты [6].

Очень много навредил качеству обучения специалистов Закон о высшем образовании. Мало того, что закон очень плохой и худший от предыдущих, но он к тому же еще сумел поссорить Украину с нашими соседями Польшей, Венгрией, Румынией, Болгарией и другими. Украина даже получила замечание Венецианской комиссии. Закон является осцилятивным по отношению к национальным меньшинствам Украины.

Так в Законе Украины вопросу качества образования посвящено лишь 9 статей, в которых вместо нужного описывается статус нововведенного монстра - Национального агентства, его полномочия, состав, аккредитация и т.п. Сейчас уже само МОН признает, что этот закон устарел. К его недостаткам можно отнести многое, в частности: отсутствие нормативной базы, проблемы имплементации, автономности, лицензирования и аккредитации, преобразование ряда должностей на прибыльную пожизненную синекуру, отсутствие механизма государственно-общественного управления вузами, мизерное финансирование с малыми зарплатами работников и т.п.

Интересный материал, как развалить высшее образование Украины, подал экс-министр МОН *Табачник Д.В*. [6], который прямо назвал программу разрушения системы высшего образования: снижение творческой мотивации педагогов, подрыв их авторитета, бюрократизация учебного процесса, либерализация учебного процесса, разрушение интеллектуальной атмосферы, подбор руководящих кадров, маскировка. После этого деградация образовательной системы и самоподдерживающийся характер становятся необратимыми [6]. Их описание показывает, что именно сейчас это и делается.

Неудачные реформы средней школы. Целый поток реформ, законов, указов президентов, постановлений кабминов, приказов МОН, центра оценивания качества образования и других руководящих бюрократических учреждений, показывая неурядицы среднего образования, в действительности содействовали и содействуют дальнейшей его деградации. Для успешного реформирования необходимо было, как минимум иметь высококвалифицированных реформаторов, успешное обеспечение качества реформ, четкий механизм как разработки, так и внедрения, подготовленную благоприятную среду и т.п. Ни одного из указанных факторов при прошлом реформировании не было. Предлагались реформы, оторванные от требований жизни, с отсутствием ответственности, коррупцией, обусловленные также дилетантством утверждающих их руководителей и депутатов. Поскольку в настоящее время ничего не изменилось, но уже их заявки о «множестве планов» настораживают и ждать успеха весьма сомнительно.

Лучшим доказательством низкого уровня качества среднего образования является то, что дети вельмож, олигархов и бизнесменов, такое образование, а со временем и

высшее получают почему-то за границей. Так дети Премьер-министра учатся в Англии, где лишь год обучения стоит свыше 2,5 млн грн, т.е. почти 85% задекларированного его годового дохода [7].

Тем не менее, интеграция с европейской системой среднего образования практически не проводилась, а зарубежный опыт игнорировался. Но главное заключалось в том, что на руководящие должности, начиная от МОН и заканчивая учебными заведениями, по известным причинам выдвигались люди абсолютно к этому непригодные за квотами руководящей политической партии.

В роботах [7,8] сформулированы общие недостатки среднего образования: неэффективность управления образованием, забюрократизированность, отсутствие внешней оценки качества обучения в средних учебных заведениях, почти полное ее отсутствие в учебно-методической и материально-технической базах, переход на 12-летнее обучение в средней школе (диву даешься, как при таком финансовом положении в стране можно еще предлагать увеличение затрат), отсутствие борьбы с коррупцией с выделением 10 главных областей, где она процветает, ущербность якобы новой концепции украинской школы с ее затертыми старыми компонентами и т.п. К сожалению, это никого не заинтересовало! Реакция подобная бросанию камней в болото - даже кругов нет.

Особого внимания заслуживает сегодняшнее положение техникумов, колледжей, лицеев и других средних технических заведений, которое чрезвычайно плохое и еще больше ухудшится после очередного реформирования. Формально техникумы и колледжи стали вузами I-II уровня аккредитации без выделения их профессиональной ниши и частями структуры вузов, но это означает, что они практически перестали быть собой. ПТУ почти исчезли. Создается впечатление, что кем-то в довершение полного развала в промышленности, особо в машиностроении и сельском хозяйстве, планируется создание нового типа учебного заведения - регионального многопрофильного центра профессионального образования. Это можно расценивать, как сознательное вредительство, поскольку все машиностроение базируется на специалистах среднего звена.

Влияние коррупции на неудачные реформы. Коррупция существует во многих странах, это как раковая опухоль, но в Украине она зашкаливает (142 место среди 175 стран). Украина в очередной раз оказалась на одном уровне с Угандой и Коморскими островами, как одна из наиболее коррумпированных стран мира. В Украине сложилась интересная бесперспективная ситуация, когда с коррупцией борются сами коррупционеры, а сама борьба подменена ИБД. Ни одного из больших коррупционеров-взяточников, воров не было осуждено. Причины известные.

Главной причиной такого буйного развития коррупции является действующий принцип «Обогащайся, как можешь!», отсутствие антикоррупционного законодательства, организация кланово-мафиозного формирования властных структур, восстановление партийности во власти, создание одной из наиболее теневых экономик страны и многое другое. Только сейчас и то по требованию Запада потихоньку начали создаваться антикоррупционные прокуратура, полиция, суды.

Устранение коррупции для эффективного реформирования задание комплексное, но и не следует его еще усложнять. Сравнивая коррупцию с раковой опухолью, просматривается довольно прозрачный способ ее устранения - необходим квалифицированный «оперирующий врач-хирург, соответствующий инструментарий, лекарство» и подготовленный пациент. Для устранения коррупции врачом может быть высшее руководство, правительство, администрация президента и депутаты ВР, инструментарием - методика и технология борьбы с коррупцией, сознательные кадры и подготовленное население. В сложных случаях можно использовать китайский опыт борьбы с коррупционерами. При этом, в будущем все руководители, чиновники, заказчики и авторы неудачных реформ должны быть однозначно надолго отстранены от реформирования. Пока что этого нет и поэтому при любом очередном реформировании задание будет не выполнимым и фейковым, а цель не достигнутой.

Налоговая система, как тормоз реформирования. Анализ действующей налоговой системы, которая не отвечает потребности государства и побуждает к кражам бюджета, уже давно требует реформирования, которое специально тормозится олигархами. С целью коренного исправления ситуации была предложена новая инновационная экономическая стратегия налоговой системы [9], согласно которой вводится налог - государственная надбавка на реализацию конечного вида продукции.

Сущность новой налоговой системы [9] состоит в ликвидации всех видов налогов для производителей продукции, а наполнение бюджетов всех уровней, в частности пенсионного фонда, достигается за счет введения государственной надбавки. Налоги и все расходы, связанные с производством и реализацией продукции, платит покупатель. Проект новой налоговой системы ломает стереотипы, которые формировались столетиями и потому многими просто не воспринимаются. В качестве примера был приведен укрупненный расчет бюджетных поступлений за 2014 при внедрении новой налоговой системы в Украине на основе известных статистических данных [9], которые подтверждают увеличение бюджетных поступлений более чем вдвое с учетом выхода экономики из тени. К сожалению, это никого не заинтересовало, так как при этом будут отсутствовать живые деньги, которые можно постоянно воровать, безосновательно обогащаться, переводить украденное в офшоры и т.п. Просто современное руководство и коррупция сделать этого не позволят.

Методика и технология реформирования показывает использование теории и практики европейского уровня, являясь ключевым фактором любых разработок реформ. Реформы разрабатываются централизованно и легитимно, с общественным обсуждением и поддержкой. Желательно, чтобы разрабатываемая реформа была не только новой, но и инновационной, обеспечивала дополнительный положительный эффект.

Разработку реформ нужно проводить на основе теории реформ [10] с учетом основных принципов реформирования: цели, затрат, средств, стабильности, альтернативности, ответственности и правовых гарантий. Под целью понимается повышение эффективности выбранного направления с уменьшением расходов в условиях рыночной экономики. При этом реформаторские действия являются лишь средством достижения цели. Принцип средств предусматривает достижение цели при минимальных затратах, которые должны быть технически обоснованными. Принцип стабильности предусматривает постоянство результатов реформ, не вызывая отрицательных явлений, например, кризиса, необходимости ухудшения показателей других реформ и т.п. Принцип затрат показывает расходы, которые объект реформирования заплатит за планируемые изменения. Необходимые средства должны быть ограничены допуском их величин, т.е. гарантировать достижение цели при не превышении их над запланированными величинами. Принцип альтернативности гарантирует ее необратимость путем предусмотрения альтернативных решений в случаях необходимости. Реформа должна быть гибкой, т.е. гибкость также можно отнести к принципам. Принцип ответственности предусматривает конкретную как административную, так и уголовную ответственность как разработчиков реформ, так и исполнителей. Принцип правовых гарантий предусматривает необходимое правовое и законодательное обеспечение, отсутствие обратной связи принятых решений. Здесь на первое место выступает как содержание, так и технология проведения реформы. Законодательное обеспечение реформ определяет: основное содержание и ключевые позиции, отступление от которых недопустимо, основные процедуры проведения реформы, гарантии реформирования и ответственность за их обеспечение. Реформа не является борьбой за власть, как это происходит сейчас, а перечнем организационных мероприятий, которые будут выполнять не политики, а специалисты.

Теория реформирования [10] имеет свои особенности, связанные с изучением общих черт, характерных для всех реформ, таких как логики, закономерностей, жизненного цикла, предпосылок и ограничений возможного перерастания в процессы с последствиями, противоположными целям реформирования. Реформированию должна предшествовать подготовка, включающая дисфункцию и факторы, способствующие

корректированию. Это можно считать основным требованием для реформы. Отработка реформы зависит от базовых и сопутствующих обстоятельств. При этом, обязательно наличие благоприятной среды, которая должна рассматриваться на разных уровнях, экономическом, техническом, организационном, административном и других.

Дальше проводится разработка плана реформы с обеспечением ее инновационности и учетом промежуточных временных неурядиц, связанных с изменением среды. Только после окончания подготовки можно начинать воплощение утвержденного плана реформы со связанными с ним разными формами противостояния. Успешность реформирования обеспечивается на техническом, производственном, организационном, кадровом, социально-политическом и других уровнях. Техническое направление охватывает полную подготовленность материально-технической базы, кадровое - обеспечение необходимым персоналом, социально-политическое - учитыванием позиций и взглядов разных прослоек населения, организационное - наличием различных типов решений и вписыванием реформы в действующую структуру реформирования, поиском возможностей приспособления реформы к существующей структуре и т.п.

Заключение. Как ни странно основным тормозом развития машиностроения, как впрочем и других отраслей промышленности оказались неудачные реформы. Если быть точным, то речь должна идти о неудачных экспериментах некомпетентных разработчиков, которые по ошибке, но громко назвали это реформами. Знание причин таких неудачных реформ в Украине имеет большое значение, поскольку в будущем для успешного реформирования они должны быть устранены вместе с реформаторами. Таких причин довольно много, но основными можно считать: кумовской капитализм, некомпетентное руководство на всех ступенях, обман и демагогия, отсутствие приоритетности реформирования, рассмотрение реформ как средства или способа максимального необоснованного обогащения, отсутствие лидеров, недостаток системы оценки качества реформы, отсутствие ответственности за результаты реформирования, неблагоприятная среда, слабая техническая политика, отсутствие квалифицированных специалистов и прочее. Если бы можно было возвратить украденные деньги согласно реформам и умно вложить в экономику, то Украина могла бы стать одной из богатейших стран мира, а машиностроение совместно с промышленностью – передовым.

Список литературы: **1.** Васюнець Н. Масштабный пенсионный обман. Какая она - справедливая цена газа? Газета экспресс. -№ 11 (9718) от 15 - 22.03.2018. **2.** Украинская наука находится на граны коллапса – ученый…[Электронный ресурс].- Режим доступа: https://zn. ua/UKRAINE/ukrainskaya-nauka-nahoditsya-na-grani-kollapsa-uchenyy-271417_.html. **3.** Новаковский И.И. Реформирование системы управления предприятием в условиях информационного общества / И.И. Новаковский // Вестник ЛНТУ «Львовская политехника» -№ -847.2016. -С. 232-238. **4.** Про минувший год в ёлочных тонах**.** [Электронный ресурс].- Режим доступа: [https://zn.ua/Science/pro-minuvshiy-god-v-elochnyh-tonah-270603_.html]. **5.** Журналы Стандартизация, сертификация, качество. № 5, - 2014, № 3 -2015, № 2 – 2016. **6.** Программа разрушения системы высшего образования. [Электронный ресурс].- Режим доступа: http://uainfo.org/blognews/260842-kak-razvalit-sistemu-obrazovaniya-nado-by-vyvesit-na-doske-obyavleniy-v-universitete.html]. **7.** Шабайкович В.А. Очередная имитация бурной деятельности по повышению качества обучения в средней школе // Стандартизация, сертификация, качество. 2016, 6 **8.** Определено 9 недостатков образовательной системы Украины. [Электронный ресурс].- Режим доступа: http://pedpresa.ua/.80827-vyznacheno-9-nedolikiv-osvitnoyisystemy-ukrayiny-u-mon-oprylyudneno-zvit-oesr.html **9.** Шабайкович В.А. Реформирование налоговой системы / В.А. Шабайкович, Е.В. Перепичка // Вестник ЛНУ «Львовская политехника», -№ 847. 2016. - С 183-193. **10.** Полтерович В.М. Элементы теории реформ. Монография. -М.: Экономика, 2007. -С. 447.

МАЛОЗАТРАТНОЕ ИЗГОТОВЛЕНИЕ ПРОДУКЦИИ

Григорьева Н.С., Шабайкович В.А.
(Луцкий национальный технический университет, г Луцк, Украина)
Тел./Факс: +38 (032) 223-60-35; E-mail: vik_shabajkin@ukr.net

Abstract: *The advantages of low-cost manufacturing of high-quality and competitive products are described, based on optimal quality, acceptable competitiveness and minimally necessary costs. Its creation begins with the design of modern products that meet the requirements of science and technology and ending with the creation of an effective material and technical production base with personnel, financial and legislative support.*
Key words*: production, quality, competitiveness, cost, support.*

Малозатратное производство - это место рождения качественной и конкурентоспособной продукции, обеспеченное необходимыми ресурсами и эффективной организацией. В современных условиях рыночной экономики и глобализации главными проблемами являются качество и конкурентоспособность продукции, а также эффективное производство, где она изготавливается. Это сложная многоплановая проблема, зависящая от многих факторов, определившая по разным мировым рейтингам последние места *Украины* как по качеству, так и конкурентоспособности продукции, а страну, как отсталую и промышленно слаборазвитую. Повышение эффективности современного малозатратного производства невозможно без знания его сущности и особенностей. Поэтому без их изучения меры по улучшению производства и экономики в целом будут напрасными.

Целью статьи является предоставление специалистам знаний, необходимых для улучшения их профессиональной производственной деятельности в первую очередь в области качества, конкурентоспособности выпускаемой продукции и малозатратности производства.

Выпуск качественной и конкурентоспособной 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 целого производства, обеспечения минимальных затрат изготовления и достаточной квалификации производственного персонала, организации производственных процессов, поставки, кадрового обеспечения и сбыта продукции. К сожалению, по упомянутым данным *Украина* заметно отстает от развитых стран мира. За 27 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 и экономикой страны просто не хватало времени, до и некому было этим заниматься.

Объективная необходимость повышения уровня отечественного производства заключается в его удешевлении при обеспечении качества и конкурентоспособности 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 производства - применение экономного предпринимательства, эффективного производства продукции при различных условиях выпуска, организации, прогрессивных технологических процессов изготовления, инноваций и инвестиций,

экономики, организации внедрения отечественного опыта предприятий ВПК, международного опыта и многих других.

При реорганизации производства на первое место должно выдвигаться внедрение бережливого производства (*Lean Production*), которое обеспечивает изготовление качественной и конкурентоспособной продукции при минимальных затратах изготовления. Сегодня бережливое производство широко применяется развитыми странами Запада и Востока, а в *Украине* – используется только отдельными фирмами, предприятиями, что свидетельствует о безразличии к нововведениям и или непонимании их сущности.

В соответствии с поставленной целью этот материал в общем может быть представлен системно изложенной теорией и практикой обеспечения качества продукции на производстве, как основы ее конкурентоспособности и организации выпуска, формирования минимальных затрат при таком производстве и эффективной работой предприятия. Особое внимание должно быть обращено на зарубежный опыт изготовления малозатратной качественной продукции передовых промышленных стран мира, таких как *Япония, США, Англия, Германия, Сингапур, Китай, Польша* и других, который успешно может быть использован, но почему-то в *Украине* он не востребован. Изложенный материал укладывается в целостную комплексную систему: качество продукции - ее конкурентоспособность – минимальная затратность - современное обеспечивающее эффективное производство. Рассматривается методически переработанный и дополненный материал, частично заимствованный из других информационных источников, в том числе Интернета.

Не следует забывать, что проблема затратности и высокого качества и конкурентоспособности продукции решается в тесной связи с другими функциями не только производства предприятия, но и целой системы страны. Такая интеграция предполагает постоянное сопровождение работы предприятия инжинирингом и экономингом. Это приводит к повышению эффективности производства, обеспечению роста производительности труда и подъема национальной экономики страны в целом.

Проблема качества и конкурентоспособности не является экономической проблемой, как многие ошибочно считают, а инженерно-технической, решаемой своими методами. Качество и конкурентоспособность продукции закладываются инженерами в продукцию, а экономисты могут это только фиксировать, т.е. оценивать, а не создавать такую продукцию.

Такой материал может рассматриваться, как ориентир для организации выпуска малозатратной качественной конкурентоспособной продукции. Он должен охватывать широкий круг практических производственных вопросов от маркетинга, разработки продукции и технологии, обновления материально-технической базы производства, повышения квалификации персонала, до уменьшения количества промежуточных звеньев производства и не производства, изменения налоговой системы и законодательного сопровождения, которые в Украине, мягко говоря, не способствуют малозатратному производству, скорее наоборот, а тем более выпуску качественной и конкурентной продукции.

Качество, конкурентоспособность и малозатратность производства продукции, а, в общем, целая экономика, являются взаимосвязанными, целостными и поэтому проблема их улучшения должна решаться совместно с применением системного подхода. Качество - это база конкурентоспособности продукции, обеспечиваемая производством как за счет качества отдельных элементов продукции и их сборкой, так и современности материально-технической базы изготовления, специализации и кооперации, особенно организации производства, технологичностью конст-

рукций как продукции, так и оборудования, квалификацией персонала, должным финансированием и компьютеризацией. Само производство должно быть компьютерно-интегрированным.

Улучшение качества продукции проходит за счет запланированных, инновационных и инвестиционных мероприятий. Качество продукции должно быть оптимальным, соответствующим высоким показателям и минимальным затратам. Стратегия производства качественной продукции заключается в обоснованности долгосрочных мер при ее изготовлении, а тактика - в методах, способах, средствах и формах достижения долгосрочных целей. Стратегия включает следующие этапы: мотивацию, предпринимательскую идею, бизнес-план, принятые решения и полученные результаты. Экономика качества продукции заключается в определении необходимых затрат по всей цепочке формирования качества. В затраты на качество продукции, которые составляют 5-25 % от ее стоимости, входят: проведение маркетинга, обеспечение качества при разработке, изготовлении и других мероприятиях. Для их уменьшения проводится анализ технической, организационной и экономической целесообразности применения выбранных средств разработки и изготовления продукции.

Исторически сложилось так, что в силу объективных и субъективных причин на Украине многие годы использовалось затратное устарелое производство малокачественной продукции. Сейчас потенциально новоиспеченными властьимущими была создана система управления, обрекшая страну на бедность, а их на быстрое обогащение. Поэтому страна не смогла воспользоваться шансами, которые открывались при получении независимости из-за безмерного и дикого обогащения чиновников любой ценой и в любом месте. Переплелись между собой «*прихватизация*» и коррупция, воровство, рейдерство, откаты, взяточничество, отмывание денег и их вывоз за границу, особенно в офшоры, уклонение от налогов, разрушительная для экономики политика и многое другое, что в итоге привело к упадку экономики, производства, качества и конкурентоспособности выпускаемой продукции.

К сожалению, в *Украине* полностью оправдалась басня *Крылова И.А.* «*Беда, коль пироги начнет печи сапожник, а сапоги тачать пирожник*». Посыпались, как из дырявого мешка, нелепые реформы, законы, постановления, инструкции и другой бюрократический бумажный хлам, а с другой стороны – появились набитые деньгами чемоданы с, украденные в стране. Так и хочется вспомнить фригийского царя *Мидаса* с VII века д.н.э, который до чего не дотрагивался, все превращал в золото. Напрашивается сравнение с точностью до наоборот: к чему не прикасались наши доморощенные мидасы: законодатели, властьимущие, чиновники, все превращалось в хлам, который тормозил любое развитие страны, но при этом - сами они озолотились.

Однако основным является человеческий фактор, поскольку все делается или ничего не делается людьми, от которых зависит как эффективность экономики, так и производство продукции. Если в производственных системах, таких стран как Япония или США, заменить персонал на украинский, то понятно, что все разрушится и скатится назад. Таким образом, качество и конкурентоспособность выпускаемой продукции в первую очередь определяется духовным и профессиональным уровнем обслуживающего персонала, начиная от рабочих и заканчивая высоким управленческим звеном.

Создается впечатление, что на руководящих должностях в большинстве работают импотенты, которые знают, как все нужно делать, но никогда этого не смогут сделать. С другой стороны, для их бездеятельности или имитации бурной деятельности, ими же создано специфическое подобное окружение, способствующее развалу экономики, занимающиеся всяческими должностными играми, особенно своим

обогащением. Все это подтверждается мировыми рейтингами, на которых *Украина* занимает худшие места по полезным показателям (производству, качеству, конкурентоспособности и другим) и первые - по плохим, например, коррупции, уровню жизни и т.п.

Для изменения сложившейся ситуации необходимо почти все переделать, устранив влияние негативных факторов на производство, и в первую очередь изменить люмпен-олигархическую заполитизированную модель экономики. Кстати, примеров положительного решения этих вопросов в мире больше, чем достаточно: это *Беларусь*, страны *Прибалтики, Польша, Чехия, Сингапур, Китай* и многие другие страны. Попутно желательно было бы отстранить от руководства всех, занимавшихся производством низкокачественной продукции на законодательном, правительственном, хозяйственном и других уровнях, которые и довели страну до плачевного состояния. А ведь все эти чиновники остаются и не собираются менять что-либо в своей работе и будут продолжать в дальнейшем влиять на экономику.

В стране действует тормозящий фактор, хотя, казалось бы, все сетуют за подъем экономики и производства продукции. Здесь можно было бы отметить: отсутствие государственного опыта руководства высшего уровня; необходимых специалистов; плохое законодательное сопровождение, фактически направленное против производства и экономики; плохую налоговую и таможенную системы, не стимулирующие производство; отсутствие финансовой помощи производству; отсутствие инноваций, инвестиций и многое другое.

Пессимистическому сценарию способствует усугубление плохого положения в стране, неэффективное распределение финансов, начиная от огромнейших зарплат и премий высшему руководству, воровство бюджетных средств и заканчивая оплатой сделанных ненужных огромнейших долгов, дорогих необоснованных закупок не особо нужных товаров, содержания множества промежуточных организаций и фирм, т.е. звеньев, которые ничего не производя накручивают цены на продукцию. Украине такая тяжесть не под силу. Эти деньги нужно вкладывать в экономику и, особенно, в производство качественной, конкурентной и малозатратной продукции. Если бы эти суммы туда вкладывались, не разворовывались, то через пару-тройку лет можно было бы догнать производства передовых стран мира.

На эффективность функционирования малозатратного производства выпуска качественной и конкурентоспособной продукции влияют как внутренние, так и внешние факторы. Внутренние факторы возникают в самом производстве, а внешние – являются результатом влияния окружающей среды, в частности политики. Поэтому для решения проблем качества и конкурентоспособности продукции по организации малозатратного производства необходимо будет выполнить ряд трудоемких этапов при возрождении экономики страны:

- разработать законодательство, сопровождающее качество и конкурентоспособность продукции, изготавливаемой на современном производстве;
- заменить налоговую систему по производству;
- усилить ответственность за выпуск некачественной и неконкурентоспособной продукции вплоть до уголовной;
- создать кадровое обеспечение производства квалифицированными специалистами высокой духовности и чувством хозяина;
- возродить и модернизировать материально-техническую базу малозатратного производства;

- разработать теорию и практику малозатратного эффективного производства, учитывающего передовые достижения науки и техники, особенно зарубежные, при снижении всех видов затрат;
- разработать теорию и практику обеспечения качества и конкурентоспособности выпускаемой продукции;

В этом направлении интересен японский опыт по малозатратному производству высококачественной и конкурентоспособной продукции. Японская модель строится на активном партнерстве между государством и частными инвесторами. Государство использует контроль банковской сферы и самостоятельно мобилизует сбережения населения, предоставляя эти средства на льготных условиях корпорациям в обмен на сотрудничество и неукоснительное соблюдение принятых на себя обязательств. Инвестиции в инфраструктуру напрямую координируют с потребностями конкретных частных фирм. Роль координатора берут на себя организуемые государством консультативные советы. Необходимым условием реализации модели является сильный частный сектор и сильное государство с эффективным аппаратом. Роль правительственных инстанций здесь настолько велика, что если возникает потребность в увеличении масштабов производства, определенная отрасль в законодательном порядке переводится в режим, позволяющий осуществлять административную координацию капиталовложений на определенный срок. Преимуществом модели является возможность мобилизации существенных средств на эффективные инвестиции. Японская модель демонстрирует хороший пример взаимодействия государства и частного сектора экономики, что в конечном итого приводит к впечатляющим результатам. Недостатком становится политизация процесса планирвания инвестиций и возможное нежелательное изменение ключевых денежно-кредитных параметров, а также коррупция политических и экономических кругов.

Как следует из изложенного, на эффективное функционирование малозатратной производственной системы изготовления качественной и конкурентоспособной продукции влияют множество факторов, являющихся следствием целой системы. 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 сильно стала заполитизированной, что также очень плохо на нее подействовало. Зная и проанализировав эти причины, можно определиться с необходимыми мерами по их устранению, наметить конкретные цели, задачи и мероприятия по улучшению отечественного малозатратного производства.

Список литературы: 1. Машиностроение: Энциклопедия. Технология сборки в машиностроении. Т III-5. / Под общ .ред. Ю.М. Соломенцева.-М.: Машиностроение, 2001. -640 с. ил. **2.** Божидарнік В.В., Григор'єва Н.С., Шабайкович В.А. Автоматичне складання виробів: - Луцк. «Надстир'я». 2005. -386 с. **3.** Григор'єва Н.С. Науково-технологічні основи гнучкого модульного автоматичного складання виробів. – Луцьк. «Надстир'я». 2008. -520 с.

АЛГОРИТМ СИНТЕЗА ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ГЕОМЕТРИЙ ЗУБЬЕВ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ КОЛЕС, РАБОТАЮЩИХ ПРИ НАЛИЧИИ ПОГРЕШНОСТЕЙ И ДЕФОРМАЦИЙ ЭЛЕМЕНТОВ ПЕРЕДАЧ

Грубка Р. М., Недашковский А. П., Михайлов А. Н., Петряева И. А., Байчоров А. А.
(ГОУВПО "Донецкий национальный технический университет", ООО «Горловский энергомеханический завод», г. Донецк, ДНР)
Тел./Факс: +38 (050) 6202396; E-mail: tm@fimm.donntu.org

Abstract: *The spatial geometries synthesis algorithm of a teethes lateral surface of cylindrical wheels in a spatial gear connection on the basis of a cylindrical involute gear wheel is presented in the article. The algorithm assumes the fulfillment of a number steps: the initial data determination and the preliminary layout gear preparation, the teeth contacting parameters calculation, the profiling, the production of the meshing pattern in different sections along the length of the tooth pinion (gear sleeve), the one- or multi-criteria optimization of the gear teeth lateral surface geometry (gear sleeve) and simulation modeling to evaluate the design of the gear transmission resulting from the calculations.*

Key words: *cylindrical gearing, spatial geometry, manufacturing errors, installation errors, deformations, tooth contact parameters, profiling.*

Зубчатые передачи обладают рядом достоинств, таких как надежность, долговечность, высокий КПД, передача значительных нагрузок при относительно не больших габаритных размерах. Эксплуатационные показатели зубчатых передач зависят от применяемых конструкционных материалов, точности и качества изготовления элементов зубчатых передач и геометрии боковой поверхности зубьев [1, 2, 3].

Геометрия боковой поверхности зубьев зависит от вида и величины перемещений, которые вызваны наличием погрешностей изготовления; погрешностей монтажа зубчатых венцов; погрешностей взаимного положения зубчатых венцов, возникающих в процессе эксплуатации вследствие деформаций элементов зубчатых передач [4, 5]. Наличие погрешностей и деформаций приводит к пространственному характеру контактирования зубьев в соединении и к необходимости синтеза пространственных геометрий боковой поверхности зубьев близких к их естественному износу в процессе эксплуатации. Пространственное рассмотрение процессов происходящих в реальном зацеплении с учетом возникающих технологических и эксплуатационных факторов позволяет создавать зубчатые соединения, полностью соответствующие основным постулатам теории зацепления, и обладающие функционально-ориентированными, а при необходимости и изменяющимися как по длине, так и по высоте зуба эксплуатационными свойствами [4, 5]. Поэтому, для решения задач синтеза и формообразования зубчатых венцов пространственно-модифицированных зубчатых колес необходимо разрабатывать простые и эффективные расчетные алгоритмы для описания геометрии боковых поверхностей зубьев и определения координат контактных точек, как при эксплуатации зубчатых колес, так и для определения точек мгновенного контакта режущего инструмента и заготовки в процессе обработки в условиях комплексного действия погрешностей и деформаций элементов зубчатых передач, что, в конечном счете, определяет актуальность представленной работы.

Разработаем алгоритм синтеза пространственных геометрий боковой поверхности зубьев цилиндрических колес используя подход по развитию кинематического метода синтеза профиля зубьев применительно к пространственному зубчатому соединению [6] и обобщенные зависимости [7], описывающие положение и движение цилиндрических зубчатых колес в пространственном зацеплении. Алгоритм основывается на разработанной методологии синтеза пространственных геометрий боковой поверхности

зубьев цилиндрических колес в пространственном зубчатом соединении на базе цилиндрического эвольвентного зубчатого колеса [8].

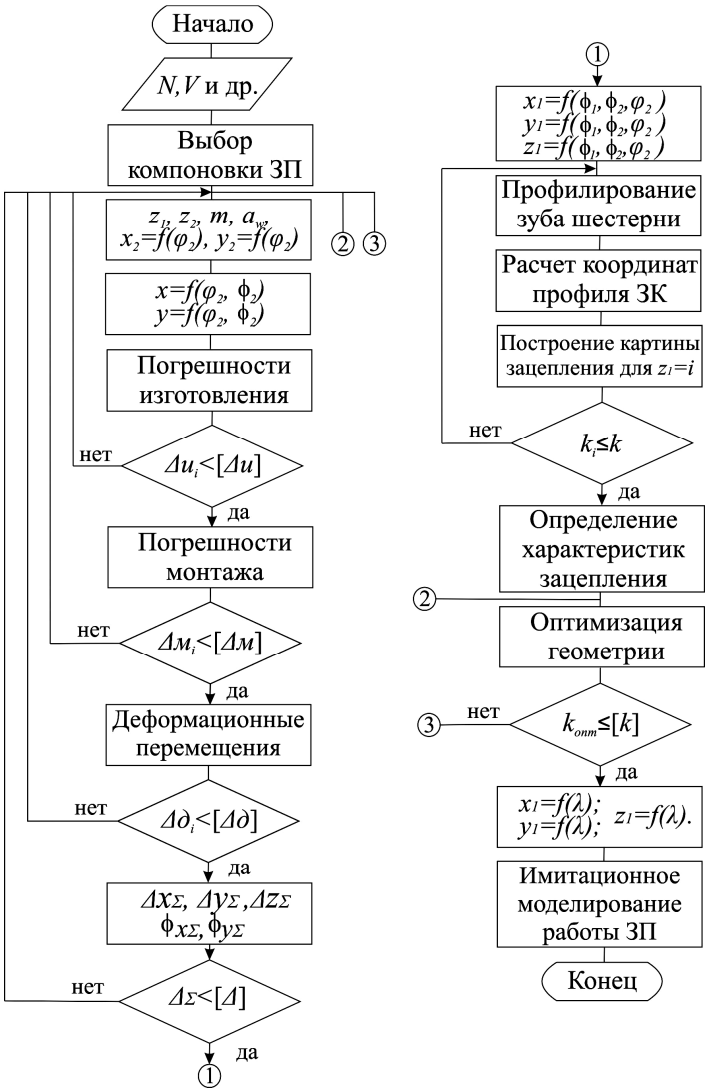


Рис. 1. Алгоритм синтеза зубчатых колес с пространственной геометрией боковой поверхности

Алгоритм синтеза пространственных геометрий боковой поверхности зубьев цилиндрических колес в пространственном зубчатом соединении на базе цилиндрического эвольвентного зубчатого колеса представлен на рисунке 1.

В соответствии с предложенным алгоритмом первоначально выполняется определение исходных данных (передаваемая мощность, окружная скорость, режим работы, назначение передачи, предельные габаритные размеры, требования по долговечности и надежности передачи и т.д.) и разрабатывается компоновка передачи. После чего рассчитываются основные геометрические характеристики элементов передачи (число зубьев, ширина зубчатых венцов, модуль, межосевое расстояние и т.д.) [9, 10] и выполняется описание боковой поверхности зубьев колеса (зубчатой обоймы) в подвижной и абсолютной системах координат [8]:

- для левого профиля зуба:

$$\left.\begin{aligned} X &= r_{b2}\cdot\left[\cos\phi_2\left[\sin\left(\varphi_2+\varphi_{c2_p}\right)-\varphi_2\cos\left(\varphi_2+\varphi_{c2_p}\right)\right]+;\right.\\ &+\sin\phi_2\left[\cos\left(\varphi_2+\varphi_{c2_p}\right)+\varphi_2\sin\left(\varphi_2+\varphi_{c2_p}\right)\right]\\ Y &= r_{b2}\cdot\left[-\sin\phi_2\left[\sin\left(\varphi_2+\varphi_{c2_p}\right)-\varphi_2\cos\left(\varphi_2+\varphi_{c2_p}\right)\right]+\right.\\ &+\cos\phi_2\left[\cos\left(\varphi_2+\varphi_{c2_p}\right)+\varphi_2\sin\left(\varphi_2+\varphi_{c2_p}\right)\right]\pm R_2;\\ Z &= z_2. \end{aligned}\right\} \quad (1)$$

- для правого профиля зуба:

$$\left.\begin{aligned} X &= r_{b2}\cdot\left[-\cos\phi_2\left[\sin\left(\varphi_2+\varphi_{c2_p}\right)-\varphi_2\cos\left(\varphi_2+\varphi_{c2_p}\right)\right]+;\right.\\ &+\sin\phi_2\left[\cos\left(\varphi_2+\varphi_{c2_p}\right)+\varphi_2\sin\left(\varphi_2+\varphi_{c2_p}\right)\right]\\ Y &= r_{b2}\cdot\left[\sin\phi_2\left[\sin\left(\varphi_2+\varphi_{c2_p}\right)-\varphi_2\cos\left(\varphi_2+\varphi_{c2_p}\right)\right]+\right.\\ &+\cos\phi_2\left[\cos\left(\varphi_2+\varphi_{c2_p}\right)+\varphi_2\sin\left(\varphi_2+\varphi_{c2_p}\right)\right]\pm R_2;\\ Z &= z_2. \end{aligned}\right\} \quad (2)$$

где r_{b2} - радиус основной окружности колеса (зубчатой обоймы);
φ_2 - угол развернутости эвольвентного профиля колеса (зубчатой обоймы);
φ_{c_2P} - угол смещения начала эвольвенты колеса (зубчатой обоймы), таким образом чтобы эвольвента проходила через полюс зацепления;
z_2 - координата по ширине зубчатого венца.

Определив вероятные величины погрешностей изготовления элементов зубчатых венцов Δu_i, вероятные величины погрешностей монтажа элементов зубчатых венцов $\Delta м_i$, вероятные величины перемещений, вызванных деформациями элементов зубчатых колес и зубчатых передач в процессе эксплуатации $\Delta д_i$, определяем суммарные погрешности зубчатых колес и передач: суммарные перемещения по соответствующим осям $\Delta x_\Sigma, \Delta y_\Sigma, \Delta z_\Sigma$ и суммарные углы перекоса $\phi_{x\Sigma}, \phi_{y\Sigma}$ [10, 11].

С учетом найденных величин суммарных погрешностей зубчатых колес и передач выполняется описание геометрии боковой поверхности зуба шестерни (зубчатой втулки) в неподвижной абсолютной системе координат:

$$\left.\begin{aligned}
&x_1 = r_{b2}Ax_1\left(\sin\left(\varphi_2+\phi_{c_2P}-\phi_1+\phi_2\right)-\varphi_2\cos\left(\varphi_2+\phi_{c_2P}-\phi_1+\phi_2\right)\right)-\\
&-Ax_2\sin\phi_1+Ax_3z_2+Ax_0;\\
&y_1 = r_{b2}\left[\left(Ay_1+Ay_2\varphi_2\right)\cos\left(\varphi_2+\phi_{c_2P}-\phi_1+\phi_2\right)+\left(Ay_1\varphi_2-Ay_2\right)\sin\left(\varphi_2+\phi_{c_2P}-\phi_1+\phi_2\right)\right]+\\
&+Ay_3\cos\phi_1+Ay_4\sin\phi_1-Ay_5z_2+Ay_0;\\
&z_1 = r_{b2}\left[\left(Az_1-Az_2\varphi_2\right)\cos\left(\varphi_2+\phi_{c_2P}-\phi_1+\phi_2\right)+\left(Az_1\varphi_2+Az_2\right)\sin\left(\varphi_2+\phi_{c_2P}-\phi_1+\phi_2\right)\right]+\\
&+Az_3\left(\cos\phi_1-\sin\phi_1\right)+Az_4z_2+Az_0.
\end{aligned}\right\} \quad (3)$$

где Ax_i, Ay_i, Az_i - постоянные коэффициенты, зависящие от величин суммарных перемещений и суммарных углов перекоса [8].

Параметры контактирования, а именно углы поворота ϕ_1 шестерни (зубчатой втулки) и ϕ_2 колеса (зубчатой обоймы) зубчатых колес определяются решением системы уравнений (3) при заданном значении угла развернутости эвольвенты φ_2. Кроме параметров контактирования в систему уравнений (3) входит еще три неизвестных: координаты x_1 и y_1 точки на боковой поверхности зуба шестерни (зубчатой втулки) и координата по длине зуба колеса z_2 (зубчатой обоймы). Для раскрытия неопределенности добавим в систему уравнений (3) два дополнительных уравнения.

Первое уравнение, позволяющие определить параметры контактирования двух профилей в точке с минимальным радиусом мгновенного поворота, в зависимости от того какая передача рассматривается с внешним или с внутренним зацеплением:

- для внешнего зацепления

$$\begin{aligned}
&\frac{dR_{PE}^2}{d\varphi_2}=\left[\frac{x_2(\varphi_2)\sin\phi_2}{R_2}\left(1+(\cos\phi_2)^2\right)+\frac{y_2(\varphi_2)\cos\phi_2}{R_2}(\sin\phi_2-1)-1\right]\sin\phi_2\frac{dx_2(\varphi_2)}{d\varphi_2}+\\
&+\left[\frac{y_2(\varphi_2)}{R_2}+\cos\phi_2+\frac{x_2(\varphi_2)\cos\phi_2\sin\phi_2}{R_2}(\sin\phi_2-1)\right]\frac{dy_2(\varphi_2)}{d\varphi_2}=0;
\end{aligned} \quad (4)$$

- для внутреннего зацепления

$$\begin{aligned}
&\frac{dR_{PE}^2}{d\varphi_2}=\left[\frac{x_2(\varphi_2)\sin\phi_2}{R_2}\left(1+(\cos\phi_2)^2\right)+\frac{y_2(\varphi_2)\cos\phi_2}{R_2}(\sin\phi_2-1)\right]\sin\phi_2\frac{dx_2(\varphi_2)}{d\varphi_2}+\\
&+\left[\frac{y_2(\varphi_2)}{R_2}-\cos\phi_2+\frac{x_2(\varphi_2)\cos\phi_2\sin\phi_2}{R_2}(\sin\phi_2-1)\right]\frac{dy_2(\varphi_2)}{d\varphi_2}=0.
\end{aligned} \quad (5)$$

Второе уравнение – уравнение линии зацепления, которая описывается, например линейной зависимостью вида:

$$y_1 = R_1 + tg\alpha \cdot x_1. \tag{6}$$

В результате получим систему из пяти уравнений, которая позволяет определять геометрию боковой поверхности зубьев шестерни (зубчатой втулки) и параметры контактирования зубчатых колес, как внешнего, так и внутреннего зацепления при наличии погрешностей изготовления и монтажа, а также при наличии перемещений, вызванных деформациями в процессе эксплуатации элементов зубчатых колес и зубчатых передач:

- для внешнего зацепления

$$\left\{\begin{array}{l}
x_1 = r_{b2}Ax_1\left(\sin\left(\varphi_2 + \phi_{c_2P} - \phi_1 + \phi_2\right) - \varphi_2\cos\left(\varphi_2 + \phi_{c_2P} - \phi_1 + \phi_2\right)\right) - \\
- Ax_2\sin\phi_1 + Ax_3z_2 + Ax_0; \\
y_1 = r_{b2}\left[\left(Ay_1 + Ay_2\varphi_2\right)\cos\left(\varphi_2 + \phi_{c_2P} - \phi_1 + \phi_2\right) + \left(Ay_1\varphi_2 - Ay_2\right)\sin\left(\varphi_2 + \phi_{c_2P} - \phi_1 + \phi_2\right)\right] + \\
+ Ay_3\cos\phi_1 + Ay_4\sin\phi_1 - Ay_5z_2 + Ay_0; \\
z_1 = r_{b2}\left[\left(Az_1 - Az_2\varphi_2\right)\cos\left(\varphi_2 + \phi_{c_2P} - \phi_1 + \phi_2\right) + \left(Az_1\varphi_2 + Az_2\right)\sin\left(\varphi_2 + \phi_{c_2P} - \phi_1 + \phi_2\right)\right] + \\
+ Az_3\left(\cos\phi_1 - \sin\phi_1\right) + Az_4z_2 + Az_0; \\
y_1 = R_1 + tg\alpha \cdot x_1; \\
\left[\dfrac{x_2(\varphi_2)\sin\phi_2}{R_2}\left(1 + (\cos\phi_2)^2\right) + \dfrac{y_2(\varphi_2)\cos\phi_2}{R_2}\left(\sin\phi_2 - 1\right) - 1\right]\sin\phi_2\dfrac{dx_2(\varphi_2)}{d\varphi_2} + \\
+ \left[\dfrac{y_2(\varphi_2)}{R_2} + \cos\phi_2 + \dfrac{x_2(\varphi_2)\cos\phi_2\sin\phi_2}{R_2}\left(\sin\phi_2 - 1\right)\right]\dfrac{dy_2(\varphi_2)}{d\varphi_2} = 0.
\end{array}\right. \tag{7}$$

- для внутреннего зацепления

$$\left\{\begin{array}{l}
x_1 = r_{b2}Ax_1\left(\sin\left(\varphi_2 + \phi_{c_2P} - \phi_1 + \phi_2\right) - \varphi_2\cos\left(\varphi_2 + \phi_{c_2P} - \phi_1 + \phi_2\right)\right) - \\
- Ax_2\sin\phi_1 + Ax_3z_2 + Ax_0; \\
y_1 = r_{b2}\left[\left(Ay_1 + Ay_2\varphi_2\right)\cos\left(\varphi_2 + \phi_{c_2P} - \phi_1 + \phi_2\right) + \left(Ay_1\varphi_2 - Ay_2\right)\sin\left(\varphi_2 + \phi_{c_2P} - \phi_1 + \phi_2\right)\right] + \\
+ Ay_3\cos\phi_1 + Ay_4\sin\phi_1 - Ay_5z_2 + Ay_0; \\
z_1 = r_{b2}\left[\left(Az_1 - Az_2\varphi_2\right)\cos\left(\varphi_2 + \phi_{c_2P} - \phi_1 + \phi_2\right) + \left(Az_1\varphi_2 + Az_2\right)\sin\left(\varphi_2 + \phi_{c_2P} - \phi_1 + \phi_2\right)\right] + \\
+ Az_3\left(\cos\phi_1 - \sin\phi_1\right) + Az_4z_2 + Az_0; \\
y_1 = R_1 + tg\alpha \cdot x_1; \\
\left[\dfrac{x_2(\varphi_2)\sin\phi_2}{R_2}\left(1 + (\cos\phi_2)^2\right) + \dfrac{y_2(\varphi_2)\cos\phi_2}{R_2}\left(\sin\phi_2 - 1\right)\right]\sin\phi_2\dfrac{dx_2(\varphi_2)}{d\varphi_2} + \\
+ \left[\dfrac{y_2(\varphi_2)}{R_2} - \cos\phi_2 + \dfrac{x_2(\varphi_2)\cos\phi_2\sin\phi_2}{R_2}\left(\sin\phi_2 - 1\right)\right]\dfrac{dy_2(\varphi_2)}{d\varphi_2} = 0.
\end{array}\right. \tag{8}$$

Используя зависимости (7) и (8), выполняем профилирование боковой поверхности зуба шестерни (зубчатой втулки). Для чего определяем координаты точек пересечения боковой поверхности зубьев шестерни (зубчатой втулки) с плоскостями параллельными плоскости *XOY* абсолютной системы координат. В результате решения систем уравнений (7) и (8) получаем массив координат точек пересечения боковой поверхности зуба шестерни с проекцией линии зацепления на плоскость *XOY* абсолютной системы координат. После чего найденные таким образом координаты контактных точек

на боковой поверхности зуба шестерни (зубчатой втулки) приводим к одному положению зуба и к вертикальной оси системы координат [8].

Рассчитав положения координат точек левого и правого профилей зуба колеса (зубчатой обоймы) для различных углов поворота в пределах зоны зацепления зубьев, можно построить картину зацепления рисунок 2. Для получения аналогичных результатов в других сечениях вдоль линии зуба шестерни (зубчатой втулки) плоскостями параллельными плоскости *XOY* абсолютной системы координат необходимо повторить расчеты с использованием зависимостей (7) и (8).

После получения распределения координат контактных точек, как по длине, так и по высоте зуба шестерни (зубчатой втулки) выполняется описание боковой поверхности зуба семейством сплайнов. Полученные таким образом зависимости могут быть использованы в дальнейшем при проведении расчетов во время выполнения технологической подготовки производства изделий с пространственно модифицированными зубчатыми венцами.

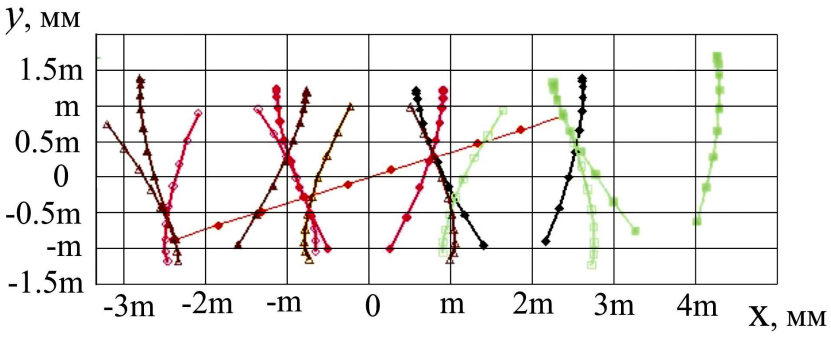


Рис. 2. Картина внешнего зацепления зубчатого колеса с прямолинейной образующей зубьев с шестерней с пространственной геометрией на боковой поверхности зубьев в сечении плоскостью Z=0

Описав геометрию боковой поверхности зубьев, выполняем определение основных характеристик зубчатой передачи и при необходимости оптимизацию геометрии боковой поверхности зубьев по одному или нескольким критериям. Принятые конструкторские решения подтверждаются путем имитационного моделирование процесса работы зубчатой передачи методом конечных элементов в одной из расчетных программ.

Таким образом, разработан алгоритм синтеза зубчатых колес с универсальной пространственной геометрией боковой поверхности зубьев, способной компенсировать погрешности изготовления, монтажа и перемещения, вызванные деформациями в процессе эксплуатации. Использование приведенных зависимостей позволяет определить параметры контактирования зубчатого эвольвентного колеса (зубчатой обоймы) с прямолинейной образующей и шестерни (зубчатой втулки) для условий внешнего и внутреннего зацепления. В результате выполнения профилирования боковой поверхности зуба шестерни (зубчатой втулки) в соответствии с представленным алгоритмом можно получить массив данных, определяющих параметры теоретической пространственной геометрии. Полученные таким образом зависимости и теоретические значения параметров пространственной геометрии боковой поверхности зубьев шестерни (зубчатой втулки) могут быть использованы в дальнейшем при конструкторской подготовке производства, в процессе моделирования и при создании комплектов конструкторской документации. Кроме того, могут использоваться при выполнении технологических расчетов геометрии режущего инструмента, траектории его перемещения в процессе изготовления зубчатых венцов с пространственными геометриями и при выполнении сравнения во время контроля соответствия параметров реально нарезанного в процессе формообразования зубчатого венца с пространственной геометрией боковой поверхности зубьев.

Список литературы: **1.** Бабичев, Д. Т. Основы концепции синтеза рабочих поверхностей зубьев цилиндрических передач, обладающих заданной контактной прочностью / Д. Т. Бабичев, М. Г. Сторчак, Д. А. Бабичев // Современное машиностроение. Наука и образование. - 2012. - № 2. - С. 150 - 160. **2.** Артемов, И. И. Система комплексного обеспечения точности зубчатых колес в условиях автоматизированного производства / И. И. Артемов // СТИН. – 1998. - №6. - С. 8 – 13. **3.** Марков, Н. Н. Проявление кинематической погрешности зубчатых колес под действием нагрузок и скоростей вращения / Н. Н. Марков, И. И. Артемов // Вестник машиностроения. – 1986. - №3. - С. 21 – 23. **4.** Грубка, Р. М. Синтез структуры групповой пространственной геометрии зубьев втулок зубчатых муфт / Р. М. Грубка, А. Н. Михайлов // Прогрессивные технологии и системы машиностроения: Международный сб. научных трудов. — Донецк: Донец. нац. техн. ун-т, 2004. — Вып. 27. — С. 71-75. **5.** Пат. № 68689 України, F16D3/18. Зубчаста муфта: О.М. Михайлов, Р.М. Грубка (Україна). — № 2003098808; Заявл. 29.09.2003; Опубл. 16.08.2004, Бюл. № 8. — 4 с. **6.** Грубка, Р. М. Развитие кинематического метода синтеза профиля зубьев применительно к пространственному зубчатому соединению цилиндрических зубчатых колес / Р. М. Грубка// Сборник научных трудов Донбасского государственного технического университета. - Алчевск: Донбас. гос. техн. ун-т, 2018. — Вып. 54. — С. 103 – 107. **7.** 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. 14 – 22. **8.** Грубка, Р. М. Синтез пространственных геометрий зубьев цилиндрических колес, работающих при наличии погрешностей и деформаций элементов передач / Р. М. Грубка, И. А. Петряева, А. Н. Михайлов, А. А. Бочаров// Прогрессивные технологии и системы машиностроения: Международный сб. научных трудов. – Донецк: ДонНТУ, 2018. - Вып. 4 (63). - С. 14 - 24. **9.** Машиностроение. Энциклопедия/ Ред. совет: К. В. Фролов (пред.) и др. -М. : Машиностроение. Динамика и прочность машин . Теория механизмов и машин. Т. 1-3. В 2-х кн. Кн. 2/ А. В. Александров, Н. А. Алфутов, В. В. Астанин и др. ; Под общ.ред. К.С.Колесникова. 1995 - 624 с. **10.** Детали машин: учебник для вузов / Л. А. Андриенко, Б. А. Байков, И. К. Ганулич [и др.]. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2007. – 520 с. **11.** 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. **12.** Грубка, Р. М. Определение суммарных погрешностей, возникающих в процессе эксплуатации зубчатых муфт / Р. М. Грубка, А. Н. Михайлов, И. А. Петряева // Комплексные проблемы техносферной безопасности: материалы Междунар. науч.-практ. конф. - Воронеж: ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет», г. Воронеж, 26-28 октября 2017 г. - Ч. V. - С. 181- 185.

ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТИ ОБРАБОТКИ ОБТЕКАТЕЛЕЙ ЗА СЧЕТ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ

Гусев В.В., **Писарева А.Г.**, **Афендиков А.Г.** *(ДонНТУ, г. Донецк, ДНР)*
Тел./Факс: +38 (071) 4200543; *E-mail: msmo@fimm.dgtu.donetsk.ua*

Abstract.*The article considers the possibility of reducing the dynamic component of the error of processing the outer contour of the fairing by a priori information. An imitating model is developed for the formation of the error in processing the radome from the sitall using the Matlab Simulink software package. This allowed us to develop a correction of the trajectory of processing the outer contour of the fairing by a priori information, in which the dynamic component of the error in processing the outer contour is compensated for.*
Keywords: *grinding, fairing, precision of the workpiece, feed, block diagram of control, apriority information.*

Введение. В России и странах НАТО основными материалами головных антенных обтекателей высокоскоростных летательных аппаратов, управляемых методом радиолокационного наведения на цель, являются кварцевая и алюмосиликатная керамики, стеклокерамика литийалюмосиликатного состава (ОТМ357) и термостойкие стеклокристаллические материалы (ситаллы или ситаллокерамика) [1], которые также относятся к группе керамических материалов. Головной радиопрозрачный антенный обтекатель является важным элементом современных скоростных летательных аппаратов, управляемых методом радиолокационного наведения. Эксплуатационные характеристики обтекателязависят от качества поверхностного слоя и точности обработки. К изделиям радиотехнического назначения предъявляют высокие требования по точности формы, по отклонению от заданной толщины стенки (≤±0,1мм) и качеству поверхности ($R_a \leq 2{,}5$ мкм). Это связано с необходимостью обеспечения требуемых радиотехнических характеристик изделия. Чем выше величина диэлектрической проницаемости материала изделия, тем более высокие требования предъявляются к нему по допускам на толщину стенки [2].

Повышение механической прочности, эрозионной стойкости, создание обтекателей с селективным пропусканием электромагнитной энергии в заданном интервале частот в настоящее время связано с усовершенствованием методов их механической обработки [1]. Повышение точности обработки обтекателей позволит улучшить их аэродинамические показатели.

Целью настоящей работы является исследование формирования точности обработки ситаллокерамических обтекателей, в частности из ситалла АС- 418, и анализ методов повышения точности их обработки.

Основное содержание. Обработка профиля антенного обтекателя ведется методом прямого копирования на станках модели РТ66202, оснащенные агрегатной шлифовальной головкой и системой прямого копирования.

Выполняется полностью обработка внутреннего контура, который затем используется в качестве технологической базы при обработке наружного контура. Обработка наружной поверхности изделия производится алмазным шлифовальным кругом IAI 200x10x3x76 AI – 315/250-4- M2-01. Как показал анализ формирования погрешности обработки наружного контура изделия [3], основная погрешность обработки связана со смещением профилирующей точки на образующей шлифовального круга при его перемещении вдоль обрабатываемой заготовки и деформациями в технологической обрабатывающей системе - динамической составляющей обработки.

На предприятии применяется коррекция эквидистанты по апостериорной информации. В соответствии с этим методом коррекция траектории обработки заготовки производится по результатам измерения толщины изделия перед последним проходом в соответствии со схемой, приведенной на рис. 1, что приводит к появлению погрешности наружного контура относительно заданной копиром.

При контурной обработке процесс резания является квазистационарным, что предопределяет изменение передаточных функций процесса резания $W_{прх}$ и эквивалентной упругой системы $W_{эусх}$. по управляемой координате.

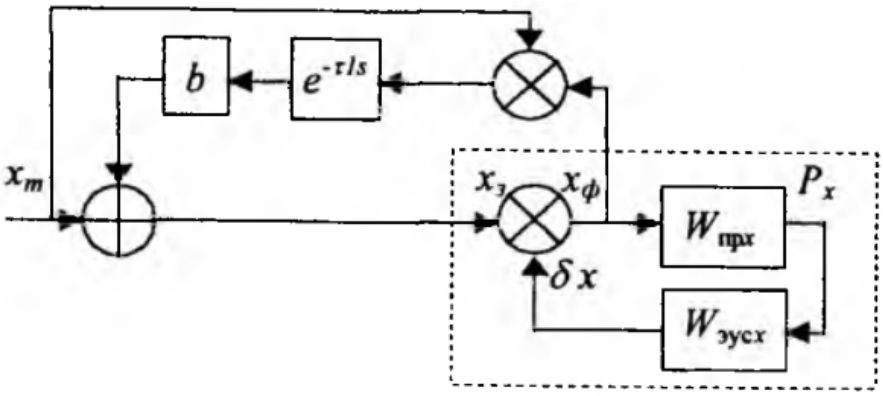


Рис. 1. Схема управления по апостериорной информации [4]

Это приводит к переменной деформации по всем координатам и переменной погрешности обработки. Наиболее простым при реализации на станке является метод обработки с коррекцией эквидистанты по априорной информации (рис. 2).

Априорная информация о процессе обработки содержится в детерминированных передаточных функциях $W_{прх}$ и $W_{эусх}$. Эти передаточные функции вполне определяются геометрическими параметрами обрабатываемой поверхности, условиями резания, радиусом инструмента, жесткостями и массами ЭУС, а также другими, наперед известными параметрами.Система управления является разомкнутой и ее эффективность всецело зависит от точности априорной информации. Такая САУ не требует установки датчиков обратной связи и является весьма эффективным средством управления процессами контурной обработки. Преимуществом данной системы является то, что существует возможность внести данные по предыскажению погрешностей, действующих в технологической системе обработки заготовки. Если погрешность обработки наружного контура изделия, связанная со смещением профилирующей кромки по образующей шлифовального круга, при его перемещении вдоль обрабатываемой заготовки, зависит от профиля круга [3] и может быть учтена в управляющей программе, то динамическая составляющая погрешности обработки определяется переменными значениями силы резания и податливости технологической системы. Рассмотрим возможность компенсации динамической составляющей при обработке обтекателя.

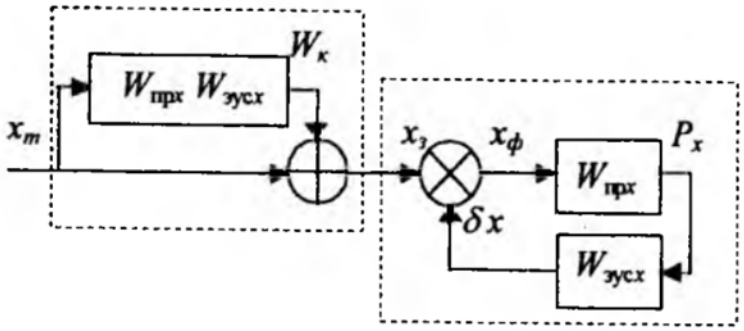


Рис. 2. Схема управления по априорной информации[4]

Установка заготовки на станке осуществляется на двух опорной оправке показанной на рисунке 3. Статические податливости шлифовальной головки и оправки с обтекателем определяли динамометром ДОСМ-0,5. Податливость шлифовальной головки составила 25 мкм/Н. Податливость заготовки с оправкой уменьшается от вершины к цилиндрической части обтекателя, как показано на рисунке 4.

Собственные частоты колебаний элементов технологической системы определяли по записи свободных колебаний системы после импульсного возбуждения. Для преобразования механических перемещений в электрические использовали виброметр ВР-2, а запись свободных колебаний производили на осциллографе СМ-8. Значения собственных частот: шлифовальной головки – 710 Гц, приспособления с изделием – 55 Гц. Структурная схема математической модели динамической системы шпиндельно-суппортной группы технологической системы показана на рисунке 5.

Передаточные функции шлифовальной головки $W_{шг}$ и шпиндель – оправки - заготовки $W_{шоз}$ рассматривали колебательные звенья, а передаточную функцию процесса резания $W_{пр}$ как апериодическое звено первого порядка. Параметры передаточных звеньев определялись на основании экспериментальных данных.

Нормальная составляющая силы резания прямо пропорционально зависит от производительности удаления материала припуска:

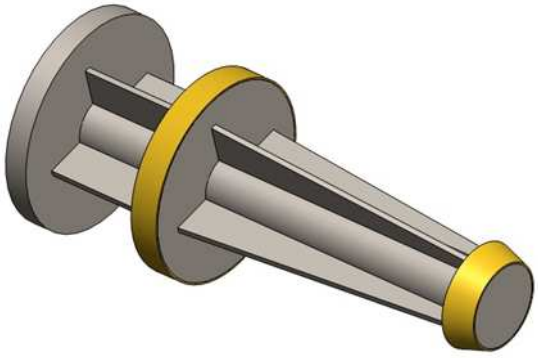


Рис. 3. Конструкции оправки

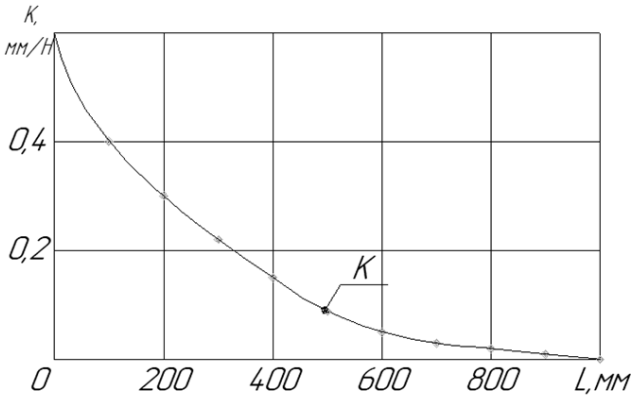


Рис.4. Податливость оправки с заготовкой. Начало отсчета вершина изделия

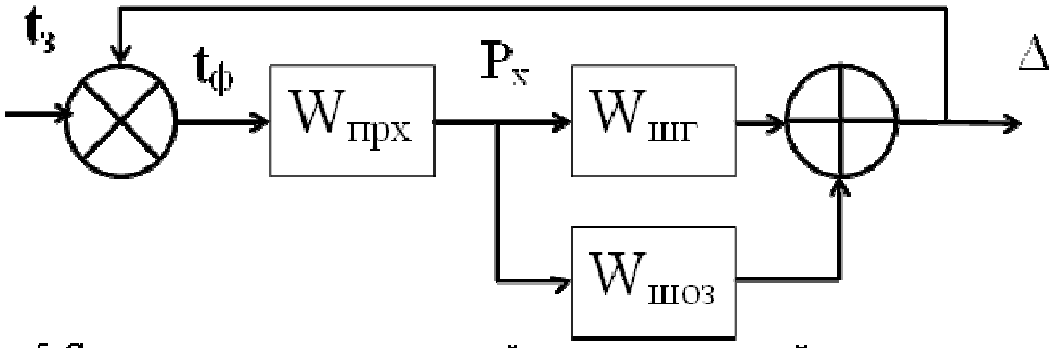


Рис.5. Структурная схема математической модели динамической системы шпиндельно-суппортной группы технологической системы

где Q – производительность удаления припуска, мм^3/с; - продольная подача, мм/об; - глубина шлифования, мм; – окружная скорость заготовки, мм/с; - коэффициент режущей способности (=2,7 мм^3/ с *Н).

Коэффициент режущей способности определялся экспериментально при постоянной скорости алмазного шлифовального круга ($V_к$ = 42 м/с).

Была выполнена экспериментальная проверка правильности такого подхода при расчете нормальной составляющей силы резания (рис. 6). Разница между расчетными и экспериментальными значениями не превышала 6%. При моделировании сила резания имела статическую и динамическую составляющие.

Для определения динамической погрешности была разработана схема формирования погрешности обработки наружного контура обтекателя с помощью пакета программ Matlab Simulink. Динамическая погрешность возрастает, начиная с носа обтекателя, своего максимума достигает на параболической части детали, затем ее значение постепенно уменьшается (рис. 7).

Процесс компенсации динамической погрешности обработки наружного контура производили согласно функциональной схеме (см. рис. 2). Функциональная схема представлена на рис. 8. В результате динамическая составляющая погрешности обработки наружного контура не превысила 0,005 мм.

Выводы. Проведен анализ погрешности формообразования тонкостенных деталей из ситаллов, который позволил определить доминирующие составляющие погрешности обработки: динамическая составляющая и смещение точки формообразования на инструменте при его перемещении относительно заготовки.

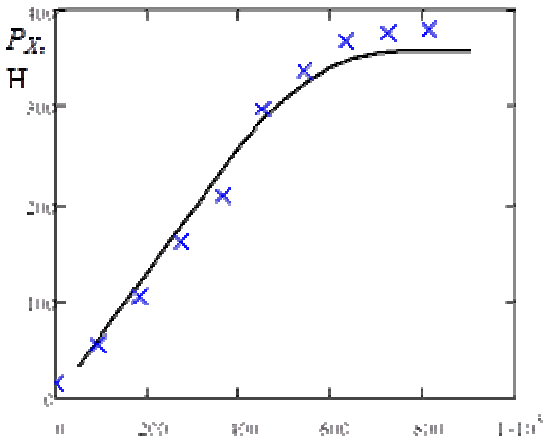


Рис. 6. Расчетные и экспериментальные значения (х) нормальной составляющей силы резания вдоль образующей изделия

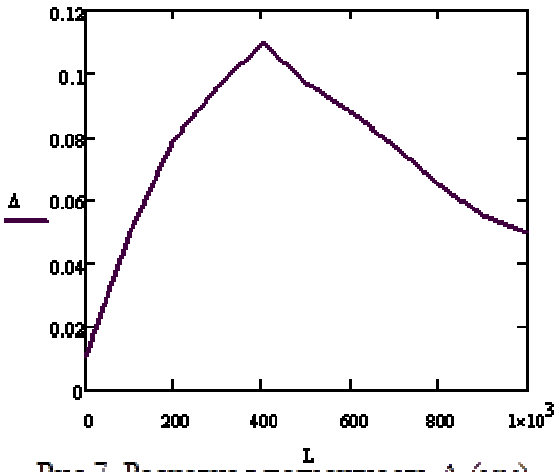
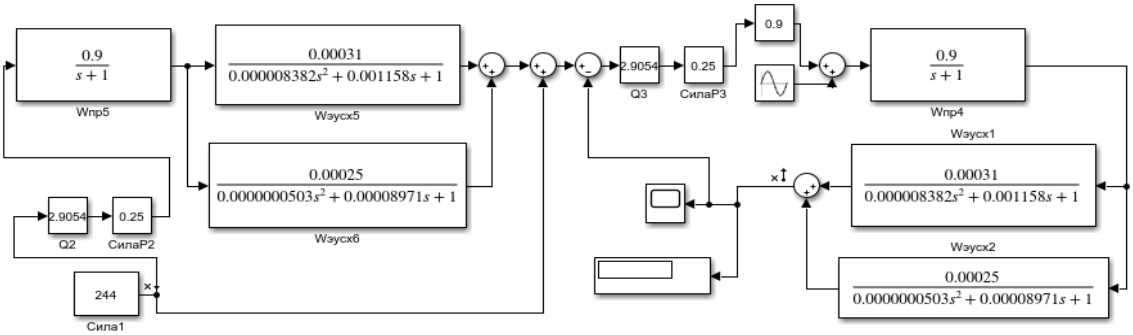


Рис.7. Расчетная погрешность Δ (эм) обработки вдоль образующей изделия от вершины к цилиндрической части



ейс программы

Разработана и исследована система управления точностью обработки тонкостенных деталей из ситаллов с использованием априорной информации. Разработана имитационная модель формирования погрешности обработки обтекателя из ситалла с помощью пакета программ Matlab Simulink.

Определено, что разница при расчете нормальной составляющей силырезания при шлифовании с экспериментальными значениями не превышает 6%. Это позволило разработать коррекциютраектории обработки наружного контура обтекателя по априорной информации, при которой динамическая составляющая погрешности обработки наружного контура не превысила 0,005 мм.

Список литературы: **1**. Суздальцев, Е.И. Радиопрозрачные, высокотермостойкие материалы XXI века // Огнеупоры и техническая керамика. – 2002. – №3. – С.42-50. **2**. Исследование влияния режимов механической обработки ситаллокерамических изделий в системе: станок – изделие – инструмент - схема / Е.И. Суздальцев, А.С. Хамицаев, А.Г. Эпов, Д.В. Харитонов // Огнеупоры и техническая керамика. – 2003. – №7. – С.23-30. **3.** Гусев, В.В. Влияние кинематической погрешности шлифования на точность обработки антенных обтекателей / В.В. Гусев, Л.П. Калафатова, Д.В. Поколенко //Сучасні технології в машинобудуванні: зб. Наук. Праць. – Вип..3. – Харків: НТУ “ХПИ”, 2009. – С. 231-236. **4.** Петраков, Ю.В. Теория автоматического управления технологическими системами / Ю.В. Петраков, О.И Драчев // Учебное пособие для студентов вузов. – М.: Машиностроение, 2008. – 336 с.

РАЗРАБОТКА И ПРИМЕНЕНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ОПТИМАЛЬНОЙ СЛОЖНОСТИ В УТОЧНЕННЫХ ВАРИАЦИОННЫХ ПОСТАНОВКАХ ОБРАТНЫХ ЗАДАЧ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ И КОНСТРУКЦИЙ

Гусев Е.Л. *(Институт проблем нефти и газа Сибирского Отделения РАН, доктор физико-математических наук, ведущий научный сотрудник; Северо-Восточный федеральный университет, профессор кафедры прикладной математики, г. Якутск, Россия,)*
E-mail: elgusev@mail.ru

Abstract: *Effective refined methods of predicting the residual life, reliability, durability of composite materials, composite coatings under the influence of extreme environmental factors are developed. Multiparameter mathematical forecasting models describing the impact of several factors of different physical nature on composite materials and structures are constructed. On the basis of the principle of multiplicity of forecasting models, methods for solving inverse problems of forecasting in refined variational statements are developed, which allow to build a model of optimal complexity on a multiparametric family of models.*
Key words*: polymer composite materials, multiparameter predictive models, residual life, long-term forecasting, experimental climatic factors, the principle of multiplicity of models, the maximum permissible prediction accuracy.*

В последние годы все возрастающее внимание уделяется проблеме разработки эффективных высокоточных методов прогнозирования остаточного ресурса, надежности, долговечности полимерных, композиционных материалов и конструкций из них, являющихся неотъемлемой частью современной техники в таких областях , определяющих научно-технический прогресс, как авиа-, и космическая техника, судостроение, нефтяная и газовая промышленность и др. [1-9].

Как, правило, решение задач прогнозирования ресурса, долговечности сложнопостроенных композитов, осуществляется в упрощенных постановках в рамках прямых задач прогнозирования, т.е. с проведением расчетов на основе известных с точностью до параметров моделей долговечности. В рамках решаемых в настоящее время упрощенных постановок не удается обосновать корректность получаемых прогнозируемых решений, которые могут существенно отличаться от реальных зависимостей.

Поэтому актуальной в настоящее время является проблема разработки эффективных, уточненных методов прогнозирования ресурса, надежности, прочности, долговечности конструкций из полимерных, композиционных материалов, основанных на современных достижениях в области математического и компьютерного моделирования, с использованием и развитием физических моделей, описывающих воздействие на сложнопостроенные композиты экстремальных факторов внешней среды и эксплуатационных нагрузок [8-12].

Разрабатываемый подход к решению задач прогнозирования связан с уточнением существующих постановок задач прогнозирования и развивается в рамках обратных задач прогнозирования, в которых в постановку задач прогнозирования включена оценка точности прогнозируемых решений. В рамках разрабатываемого подхода в рамках обратных задач прогнозирования с включением в постановку задачи прогнозирования оценки точности прогноза, могут быть разработаны научно обоснованные прогнозируемые решения в пределах требуемой точности прогноза.

В общем случае на полимерные, композиционные материалы, композиционные конструкции могут воздействовать в различных комбинациях одновременно несколько

различных факторов, связанных с процессами упрочнения, воздействием солнечной радиации, влагонасыщением, воздействием ультрафиолетового излучения, воздействием экстремальных климатических факторов, воздействием эксплуатационных нагрузок как циклического, так и нециклического характера и т.п. Каждый из этих факторов оказывает самостоятельное воздействие на степень поврежденности полимерного, композиционного материала, композиционной конструкции.

Обозначим определяющее свойство материала через R (остаточный ресурс долговечность надежность и т.п.), а его первоначальное значение через R_0 . Будем предполагать, что воздействие каждого из факторов приводит к независимому суммированию повреждений материала, полученных от воздействия других факторов. Обозначим общее число факторов воздействующих на материал, и приводящих к его повреждению и преждевременному старению через p. Будем также считать, что модели, описывающие воздействие каждого из факторов на определяющее свойство R, известны с точностью до ряда параметров. Обозначим через $F_j\left(u_{j,1},u_{j,2},...,u_{j,l_j};t\right),(j=1,2,...,p)$ модель, описывающую воздействие j-го фактора на определяющее свойство материала, $u_{j,1},u_{j,2},...,u_{j,l_j}$ - система неопределенных параметров модели, l_j – число неопределенных параметров модели.

Тогда в предположении, что различные физические факторы оказывают на материал или конструкцию воздействие, независимое от воздействия других факторов, и изменения, вызванные в материале или конструкции различными факторами суммируются, то можно принять что модель, описывающая одновременное воздействие нескольких факторов на материал или конструкцию имеет аддитивный характер и м.б. представлена в виде:

$$R=R_0+\sum_{j=1}^{p}F_j\left(u_{j,1},u_{j,2},...,u_{j,l_j};t\right). \qquad (1)$$

Каждая из функций F_j , описывающая воздействие j-го фактора на сложнопостроенный композит, может быть представлена в виде разложения в ряд по некоторой системе базисных функций $\psi_{kj}\left(\beta_{kj};t\right),(k=1,2,3,...)$, которые в наиболее полной мере характеризуют особенности процесса увеличения поврежденности материала при воздействии экстремальных факторов внешней среды.

$$F_j=\sum_{k=1}^{\infty}\alpha_{kj}(u_{j,1},...,u_{j,l_j})\psi_{kj}\left[\beta_{kj}(u_{j,1},...,u_{j,l_j});t\right],\ (j=1,2,...,p). \qquad (2)$$

В этих обозначениях: $\alpha_{kj}(u_{j,1},...,u_{j.,l_j}),\beta_{kj}(u_{j,1},...,u_{j.,l_j}),(j=1,2,...,p;\ k=0,1,2,...)$ неопределенные параметры модели, описывающие воздействие j-го фактора.

В настоящее время для описания процессов старения широкое распространение получили модели Аррениуса, предполагающие, что процессы старения в материале носят экспоненциальный характер. Однако обоснование уравнений Аррениуса осуществлялось на уровне изучения поведения отдельной молекулы и перенос результатов, полученных на основе изучения отдельной молекулы на весь материал, является необоснованным и может приводить к некорректным результатам. Если композиционный материал состоит из нескольких однородных частей, то уравнение Аррениуса рекомендовалось применять к каждой из однородных частей с различными параметрами, что также является недостаточно необоснованным.

Построение достаточно обоснованных моделей прогнозирования связано с выявлением и аналитическим описанием закономерностей влияния процессов, происходящих на молекулярном уровне или на микроуровне, на процессы происходящие на макроуровне. Будем предполагать, что достаточно существенный вклад в процессы, связанные со старением материала на макроуровне, оказывают процессы на молекулярном уровне или на микроуровне, являющиеся суперпозицией процессов, происходящих на уровне каждой молекулы. С учетом введенного предположения, беря за основу экспоненциальный характер процессов, происходящих на уровне отдельной молекулы, описываемых уравнением Аррениуса, и считая, что суперпозиция процессов, происходящих на уровне каждой отдельно взятой молекулы, носит аддитивный характер, целесообразно при разложении в ряд факторов F_j , описывающих процессы старения, в качестве системы опорных функций выбрать систему экспоненциальных функций, отражающих экспоненциальный характер процессов, происходящих на молекулярном уровне, описываемых уравнением Аррениуса.

Сформулирован принцип множественности моделей прогнозирования, который был положен в основу разработки оптимальных моделей прогнозирования оптимальной сложности. В соответствии с сформулированным принципом множественности моделей прогнозирования, моделью, наиболее адекватной реальной прогнозируемой временной зависимости определяющего свойства сложнопостроенного композита $R^*(t)$, является модель оптимальной сложности.

<u>Определение.</u> Под моделью оптимальной сложности будем понимать модель, содержащую оптимальное число слагаемых, которая позволяет решать задачу прогнозирования с требуемой точностью.

Сформулирована экстремальная задача, из решения которой может быть определена модель оптимальной сложности. Данная экстремальная задача может быть представлена в форме

$$J\left(R_{n^*}^{*}\left(u^{n^{**}};t \right) \right)=\min_{\substack{\{R_n(u^n;t)\} \\ 1\le n<\infty}} J\left(R_n\left(u^n;t\right)\right). \qquad (3)$$

В этих обозначениях: u^n - вектор параметров модели прогнозирования параметрического семейства, соответствующей значению параметра n: $u^n=\left(u_1^n,u_2^n,...,u_n^n\right)$;

$J\left(R_n(u^n;t)\right)$ - оценка степени отклонения данной модели $R_n(u^n;t)$, многопараметрического семейства, соответствующего значению параметра n ($1\le n<\infty$), от реальной временной зависимости определяющего свойства $R^*(t)$;

$R_{n^*}^{*}\left(u^{n^*};t\right)$ - модель прогнозирования многопараметрического семейства оптимальной сложности; $\left(u^{n^*}\right)^*$ - вектор параметров модели прогнозирования оптимальной сложности, соответствующей оптимальному числу параметров, равному n^*.

Разработаны методы решения обратных задач прогнозирования в уточненной постановке на основе принципа множественности моделей прогнозирования, позволяющих на многопараметрическом семействе моделей построить модель оптимальной сложности. Показано, что применение принципа множественности моделей прогнозирования и многопараметрических моделей оптимальной сложности, в рамках уточненных вариационных постановок обратных задач прогнозирования остаточного ре-

сурса, долговечности позволяет значительно увеличить точность решения задач прогноза.

Список литературы: 1. Болотин В. В. Прогнозирование ресурса машин и конструкций. М.:Наука, 1984. **2.** Уржумцев Ю.С. Прогнозирование длительного сопротивления полимерных материалов - М.: Наука, 1982. - 222 с. **3.** Уржумцев Ю.С., Майборода В.П. Технические средства и методы определения прочностных характеристик конструкций из полимеров. - М.: Машиностроение, 1984. - 169 с. **4.** Уржумцев Ю. С., Максимов Р.Д. Прогностика деформативности полимерных материалов. ИМП АН ЛатвССР. - Рига: Зинатне, 1975. - 416 с. **5.** Булманис В.Н., Старцев О.В. Прог-нозирование изменения прочности поли-мерных волокнистых композитов в результате климатического воздействия. Препринт, - Якутск, 1988. - 32 с. **6.** Gusev E.L. Using parallel procedures for the searching of the extremum for the decision of the inverse problems prediction of the defining characteristics of the composite materials// Material Physics and Mechanics, 2016, v.26, N 1, p. 70-72. **7.** Гусев Е.Л. Релаксационные методы в прогнозировании определяющих характеристик при воздействии экстремальных факторов внешней среды// Международный журнал Международного союза ученых «Наука. Технологии. Производство», 2015, №8, с. 4-7. **8.** Гусев Е.Л. Методы, связанные с выделением перспективных направлений поиска для решения обратных задач прогнозирования определяющих характеристик полимерных композитов при воздействии экстремальных климатических факторов внешней среды и эксплуатационных нагрузок//Сб. трудов Всероссийской научной конференции с международным участием (к 95-летию со дня рождения академика И.Ф. Образцова) «Механика композиционных материалов и конструкций, сложных и гетерогенных сред», М., ИПРИМ РАН, 2015, с. 518-520. **9.** 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., ВИАМ, 2015, с.132-141. 10. Гусев Е.Л. Задачи уточнения моделей прогнозирования определяющих характеристик композиционных конструкций и методы их решения//Межд. журнал Евразийского Союза ученых (ЕСУ), 2017, т. 34, № 1, с. 73-77. **11.** Гусев Е.Л. Уточненные постановки задач прогнозирования определяющих характеристик композиционных материалов и конструкций при воздействии экстремальных факторов внешней среды // Материалы XX Юбилейной Международной конференция по Вычислительной механике и современным прикладным программным системам (ВМСППС'2017), Москва, МАИ-ПРИНТ, 2017, с. 222-224. **12.** Гусев Е.Л., Бакулин В.Н., Черных В.Д. Перспективные пути расширения потенциальных возможностей прогнозирования долговечности композиционных материалов при воздействии экстремальных климатических факторов// Материалы XX Юбилейной Международной конференция по Вычислительной механике и современным прикладным программным системам (ВМСППС'2017), Москва, МАИ-ПРИНТ, 2017, с. 224-226.

К ВОПРОСУ РАЗРАБОТКИ И ЭКСПЛУАТАЦИИ МНОГОПРИВОДНОГО ПЛАСТИНЧАТОГО КОНВЕЙЕРА

Данияров Н.А., Келисбеков А.К. *(ТОО «Корпорация Казахмыс», КарГТУ, г. Караганда, Республика Казахстан)*
Тел./Факс: +7-701-748-15-68; E-mail: nadaniyarov@mail.ru

Abstract: *Requirements are in-process considered at planning of quarry plates conveyer. The kinematics chart of multidrive plates conveyer is presented. Considered of advantage of application of asynchronous electric motors in a multidrive conveyer.*
Key words: *Multimotive plates conveyer, smooth starting of electromechanic, tightener.*

Основные требования к конвейерам для крупнокусковых и крупнодробленных горных пород, предназначенным для эксплуатации в условиях открытых горных работ со сложной конфигурацией месторождений, можно сформулировать следующим образом [1]:

- возможность применения "бесперегрузочной" схемы транспортирования груза с максимальной возможностью вписывания в сложные (преимущественно криволинейные) транспортные трассы (длиной 1000-5000 м, с радиусом изгиба в плане 20 м, а по вертикали 30-40 м, с углом подъема до 35^0), сокращающей количество перегрузочных пунктов и число работающих механизмов в комплексе до минимума;
- прием и транспортирование высокоабразивного, крупнокускового и крупнодробленного (до 500-1200 мм) груза плотностью до 3 т/м^3 в течение длительного времени эксплуатации, определяемого сроком службы комплекса (до 3-5 лет) без существенного (в пределах допустимых значений) износа и деформации грузонесущего органа;
- требуемую производительность (до 5-50 млн. т в год) предприятия (участка) оснащенного высокопроизводительными добычными машинами, при минимально возможной удельной металлоемкости в результате выбора рациональной формы желоба, обеспечивающей максимальное живое сечение потока груза и увеличение скорости движения грузонесущего органа;
- надежную работу элементов комплекса при сложных климатических условиях (в диапазоне от -40^0 до $+40^0$);
- более высокий по сравнению с другими видами транспортных средств уровень комплексной механизации и автоматизации доставочных операций на карьере с учетом возможности в перспективе разработки месторождений без постоянного присутствия людей в забоях (безлюдная выемка).

При проектировании и разработке конструкции многоприводного пластинчатого конвейера (МПК) (рис. 1) возникают определённые трудности, связанные с решением вопросов перераспределения нагрузки между приводами, осуществления нормального режима пуска и остановки конвейера, а также обеспечения достаточных прочностных параметров элементов конструкции конвейера при транспортировании крупнодробленого и крупнокускового грузов и необходимостью разработки особых требований к системе автоматического регулирования конвейерной установки [1]. Вопросы перераспределения нагрузки между приводами отражены во многих исследованиях, которые показали, что в процессе эксплуатации многоприводного пластинчатого конвейера в его тяговом контуре кроме расчетных усилий (предварительного натяжения, статической и динамической составляющих сил сопротивления движению) имеют место дополнительные уравнительные усилия.

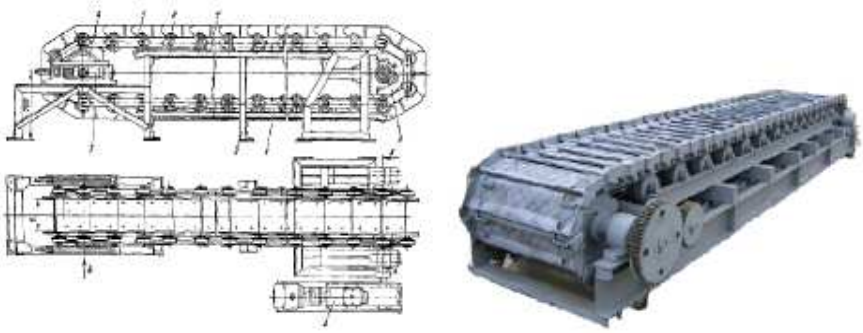


Рис. 1. Пластинчатый конвейер
1 - цепь, 2 - рама, 3 - натяжное устройство, 4 - натяжная звездочка, 5 - настил, 6 - опорные ролики, 7 - направляющие, 8 - приводная звезлочка, 9 - привод [2]

Очевидно, причины их возникновения различные, но главными следует считать: изменение режима загрузки конвейера; влияние внешних климатических условий на величину коэффициента основного сопротивления движению; несоответствие действительных значений геометрических параметров деталей привода расчетным значениям и др. Кроме главных факторов могут быть второстепенные, проявляющие себя только в определенных режимах эксплуатации, при конкретной системе электропривода и т. п.

Пуск пластинчатого конвейера большой длины представляет собой сложную задачу, так как сопровождается чрезмерным расслаблением тягового органа впереди (по ходу движения полотна) привода. Особенно неблагоприятны условия пуска пластинчатого конвейера, полотно которого имеет провисающие участки, вследствие чего жесткость рабочего органа, являющаяся функцией его натяжения и нагрузки на нем, относительно мала. Для обеспечения безаварийного пуска конвейера предусматривается режим подготовки, согласно которому перед каждым пуском в тяговом органе создается определённое пусковым расчетом первоначальное натяжение S_n, после чего натяжное устройство жестко фиксируется. Для случая многоприводных конвейеров решение проблемы пуска еще сложнее. Наличие промежуточных приводов не позволяет контролировать первоначальное натяжение тягового органа указанным способом. Такой контроль возможен только при установке у каждого привода натяжного устройства, что конструктивно выполнимо, но сложно.

Применение на таком конвейере регулируемого электропривода предполагает автоматизацию режимов пуска и торможения конвейера по оптимальным законам управления. На рисунке 2 представлена разработанная кинематическая схема многоприводного пластинчатого конвейера. В данной схеме приведены все основные структурные элементы пластинчатого конвейера: электропривод, рабочий орган конвейера, перемещаемый груз и виды связей между этими элементами [2].

Увеличение числа двигателей в электроприводах различных производственных механизмов, особенно при большой мощности или при значительной механической инерции, является одной из важных тенденций в развитии современного машиностроения [3]. Это обусловлено следующими преимуществами многодвигательного электропривода:

1) увеличением числа двигателей, что облегчает унификацию электроприводов различных по мощности установок;

2) меньшим суммарным моментом инерции двигателей при многодвигательном электроприводе, по сравнению с однодвигательным соответствующей мощности;

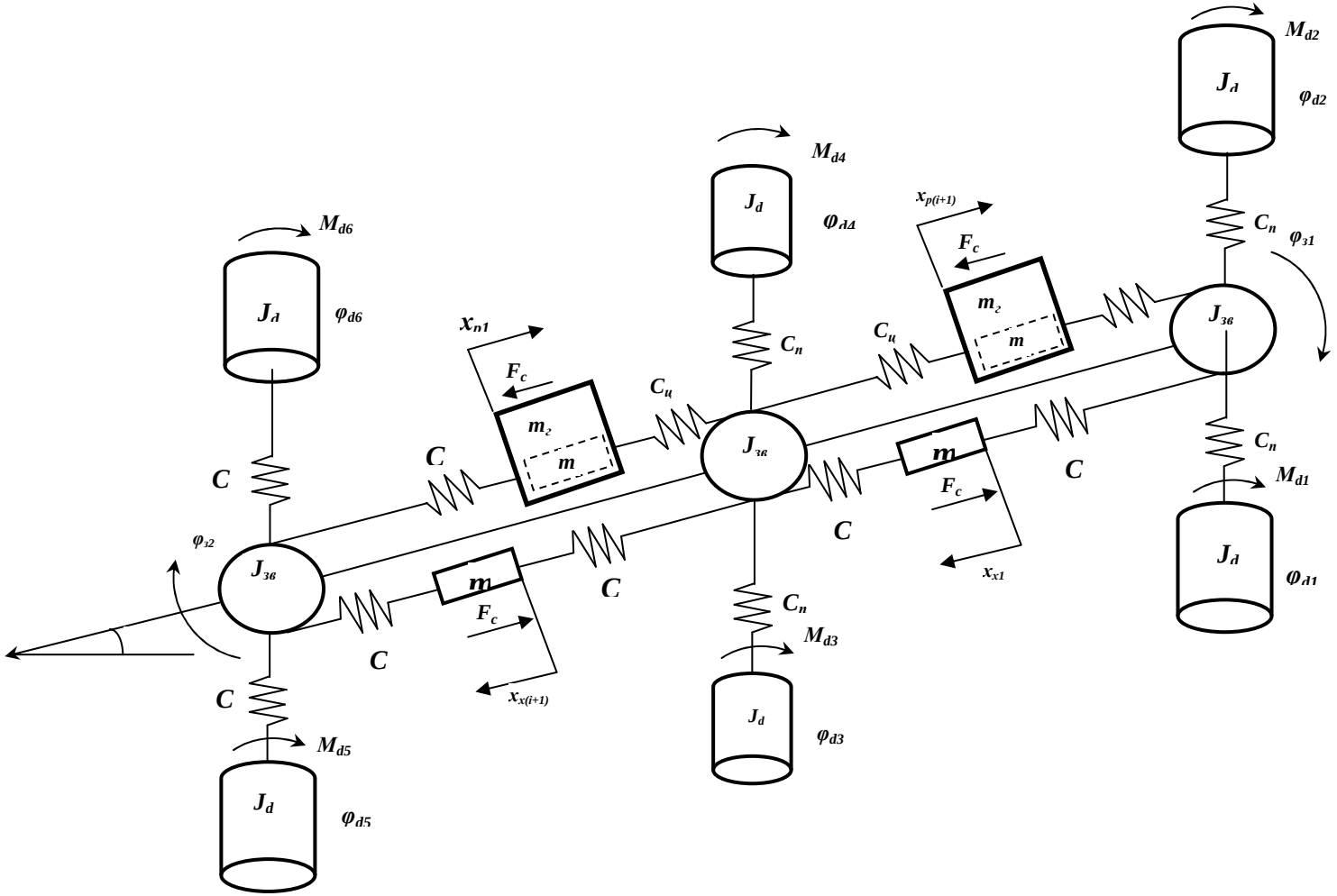


Рис. 2. Кинематическая схема многоприводного пластинчатого конвейера [2]

где, J_d - момент инерции роторов электродвигателей; $M_{d1,}M_{d2}$, M_{d3}, M_{d4} - электромагнитные моменты 1-го, 2-го, 3-го и 4-го электродвигателей; $J_{зв}$ - момент инерции приводной звезды; C_n - коэффициент жесткости редуктора привода; $m_г$ - масса груза, соответствующая одному конечному элементу; F_c - сила сопротивления движению массы m участка тяговой цепи и груза (с учетом составляющей веса $mg*sina$ при работе на пласте с углом падения a); φ_{d1}, φ_{d2}, φ_{d3} - углы поворота роторов электродвигателей; $\varphi_{з1}$, $\varphi_{з2}$, - углы поворота приводных звезд; $x_{p(i)}$, $x_{p(i+1)}$ - координата i-ой массы конечных элементов - аналогов тяговой цепи на рабочей и холостой ветвях

3) снижением нагрузки на передачи и, вследствие этого, их уменьшенными массой и габаритами за счет большого момента инерции механизма и увеличения числа двигателей, подводящих через индивидуальные передаточные устройства механическую энергию к механизму.

Одной из основных причин, приводящих к малому сроку службы цепного тягового органа конвейера является усталостная долговечность. Усталостная долговечность определяется в основном колебательными процессами, происходящими в цепи в установившихся режимах эксплуатации. Эффективный способ уменьшения динамических нагрузок заключается в применении автоматизированного электропривода.

Асинхронные электродвигатели превосходят двигатели постоянного тока по многим параметрам [4]:

- просты по устройству и надежны, так как не имеют подвижных контактов;
- имеют меньшие по сравнению с двигателями постоянного тока размеры, массу и стоимость при той же мощности.
- асинхронные двигатели просты в изготовлении и эксплуатации.

Управление асинхронным электродвигателем в частотном режиме до недавнего времени было большой проблемой, хотя теория частотного регулирования была разработана еще в тридцатых годах прошлого века. Развитие частотно-регулируемого электропривода сдерживалось высокой стоимостью преобразователей частоты. Появление силовых схем с IGBT-транзисторами, разработка высокопроизводительных микро-процессорных систем управления позволило различным фирмам Европы, США и Японии создать современные преобразователи частоты доступной стоимости.

Основной недостаток асинхронных электродвигателей – сложность регулирования их скорости традиционными методами (изменением питающего напряжения, введением дополнительных сопротивлений в цепь обмоток) [5].

Список литературы: **1**. Сагинов А. С., Данияров А.Н., Акашев З.Т.. Основы проектирования и расчета карьерных пластинчатых конвейеров. - Алма-Ата: Наука, 1984. - 328 с. **2.** Кондрахин В.П., Мельник А.А., Косарев В.В., Стадник Н.И., Косарев И.В. Математическая модель для исследования нагрузок в двухскоростном многодвигательном приводе и тяговом органе скребкового забойного конвейера // Наукові праці Донецького національного технічиого университету, вип.99, Серія: гірничо-електромеханічна.- Донецьк: ДонНТУ.- 2008.- С. 104- 110. **3.** Брейдо И. В. "Оптимизация режимов работы скребковых конвейеров угольных шахт средствами тиристорного электропривода" Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.09.03. – "Электрооборудование горной промышленности" Караганда – 1982. **4.** David H. Wauge. Modeling of an Armored Face Conveyor. Department of Mechanical Engineer-ing. University of Queensland. Masters of Engineering Science Thesis August 19, 2002. **5.** Breido I.V., Daniyarov N.A., Ahmetbekova A.M., Kelisbekov A.K. Revisiting the use of variable-frequency electric Drive in a multi-motor apron conveyor. /Proceedings of the International scientific-practical conference “Science integration, education and production - basis of the implementation of the Plan of the nation”(Saginov’s readings № 10) June 14-15, 2018 Part 2

РЕЖИМЫ ЛАЗЕРНОЙ НАПЛАВКИ И ГЕОМЕТРИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ ВАЛИКОВ ИЗ РАЗЛИЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ ПРИ НАНЕСЕНИИ МУЛЬТИМОДАЛЬНЫХ ПОКРЫТИЙ

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

Abstract: *Method of laser cladding and its possibility for multimodal scored layers forming from heterogeneous work materials are considered in the article. The laser cladding processing parameters influence on geometric parameters of cladding tracks are showed. The dependences of cladding tracks width and height from cladding speed and cladding distance are received by complete factorial experiment procedure.*
Key words: *Laser cladding, multimodal coatings, geometric parameters of cladding trecks, cladding speed, cladding distance.*

Лазерная наплавка имеет целый ряд преимуществ перед другими технологиями нанесения покрытий. Прежде всего, это связано с небольшими размерами наплавляемых валиков, сравнимыми с диаметром лазерного пятна на поверхности наплавки и локальностью нагрева. Благодаря своим особенностям метод лазерной наплавки позволяет проектировать и создавать мультимодальные покрытия, состоящие из полосчатых слоев, полученных чередованием материалов, обладающих различными физико-механическими свойствами. Реализация технологии нанесения мультимодальных покрытий методом лазерной наплавки неразрывно связана с использованием системы числового программного управления для осуществления процесса наплавки, что позволяет с высокой точностью создавать архитектуру мультимодальных поверхностных слоев. Технология создания мультимодальных покрытий может быть использована как для упрочнения поверхностей новых деталей, так и для восстановления их изношенных поверхностей с хорошими прочностными свойствами [1, 2].

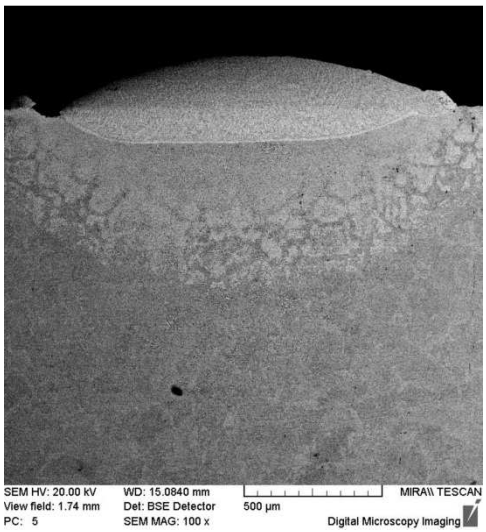


Рис. 1. Поперечный шлиф валика полученного лазерной наплавкой сплава ПГ-12Н-01 при скорости наплавки V= 40 мм/мин и дистанции наплавки L= 10 мм

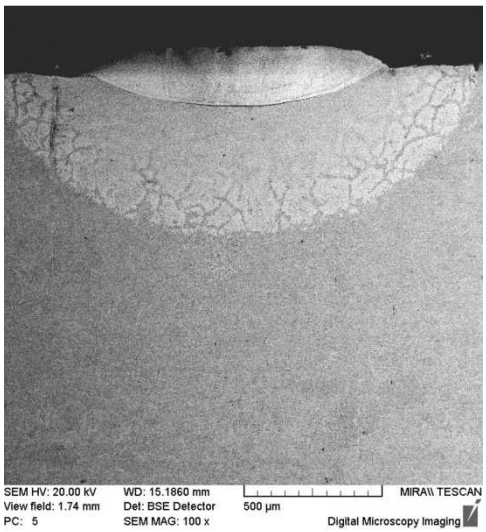


Рис. 2. Поперечный шлиф валика полученного лазерной наплавкой сплава ПГ-12Н-01 при скорости наплавки V= 60 мм/мин и дистанции наплавки L= 12 мм

Прежде чем приступить к созданию мультимодальных покрытий из разнородных металлических материалов должна быть отработана технология лазерной наплавки

валиков из составляющих мультимодального покрытия. В частности, должны быть выявлены закономерности формирования геометрических размеров валиков в зависимости от режимов лазерной наплавки, так как поперечные размеры валиков, получаемых при различных режимах наплавки, достаточно сильно отличаются. На рис. 1 и 2 показаны поперечные шлифы валиков, полученных при различных скоростях и дистанциях наплавки. При этом хорошо видно, что высота и ширина валиков отличаются в 1,4-1,5 раза. В этой работе исследованы основные особенности формирования геометрии поперечного сечения валиков, получаемых при лазерной наплавке при изменении таких параметров, как дистанция наплавки и скорость наплавки.

Для выполнения исследований применялся лазерный технологический комплекс на базе газового CO_2 лазера непрерывного действия «Комета 2» с мощностью излучения до 1000 Вт и 3-х координатной системы с числовым программным управлением для обеспечения необходимой точности перемещения наплавочной головки относительно наплавляемых образцов. Лазерная наплавка производилась при мощности излучения 1000 Вт, величине подачи порошка 12 г/мин на образцы из стали 45 имевшие размеры 20х30х8 мм. В качестве наплавочного материала использовались порошки самофлюсующегося сплава на основе никеля ПГ-12Н-01 и бронзы ПГ-19М-01, имевшие грануляцию 20-80 мкм. Высота валиков над поверхностью наплавки и ширина валиков определялись на поперечных шлифах зон наплавки при помощи металлографического микроскопа с видеофиксацией «Микро Р200».

В результате предварительных оценочных экспериментов было установлено, что зависимости высоты и ширины валиков наплавки от скорости и дистанции наплавки имеют линейный характер. Поэтому для сокращения количества выполняемых экспериментов и получения наиболее достоверных данных использовалась методика полного факторного эксперимента (ПФЭ). Обработка данных экспериментов производилась при помощи специальной программы, составленной на основе редактора электронных таблиц Microsoft Excel 2010. Эксперименты проводились по плану ПФЭ 2^2, каждый эксперимент повторялся два раза. Программа выполняла проверку воспроизводимости эксперимента по критерию Кохрена, значимость коэффициентов регрессии по критерию Стьюдента, адекватность уравнения регрессии по критерию Фишера. Полученные уравнения регрессии в натуральных переменных для высоты валиков (Н) и ширины валиков (I) из сплава ПГ-12Н-01имели следующий вид:

$$H = 0{,}02 - 0{,}0025 \cdot v + 0{,}0275 \cdot l$$

$$I = 2{,}133 - 0{,}0018 \cdot v - 0{,}076 \cdot l$$

Аналогичные уравнения, были получены и для бронзы ПГ-19М-01.

$$H = -0{,}02 - 0{,}00065 \cdot v + 0{,}0275 \cdot l$$

$$I = 3{,}044 - 0{,}00077 \cdot v - 0{,}0965 \cdot l$$

На основании приведенных уравнений были построены зависимости высоты валиков над поверхностью наплавки Н и ширины валиков для сплава ПГ-12Н-01 и бронзы ПГ-19М-01 от скорости наплавки и дистанции наплавки (рис. 3-10).

На рис. 3 и 7 показаны зависимости ширины валиков из сплава ПГ-12Н-01 и бронзы ПГ-19М-01 от скорости наплавки. Из них видно, что при увеличении скорости наплавки ширина валиков уменьшается. Такая зависимость объясняется тем, что при увеличении скорости наплавки один и тот же объем подаваемого в зону наплавки материала распределяется на большей длине наплавки.

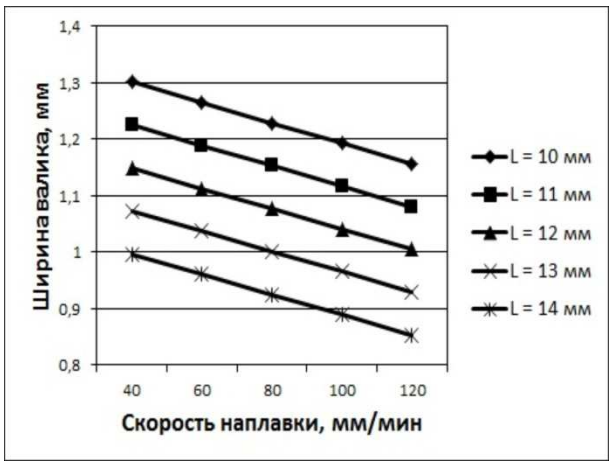


Рис. 3. Зависимость ширины валика от скорости наплавки для сплава ПГ-12Н-01

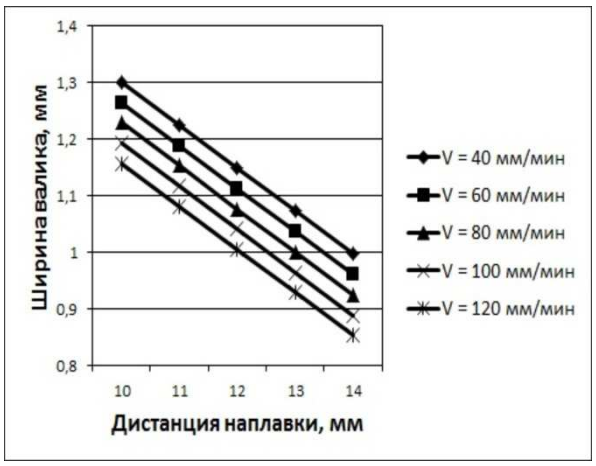


Рис. 4. Зависимость ширины валика от дистанции наплавки для сплава ПГ-12Н-01

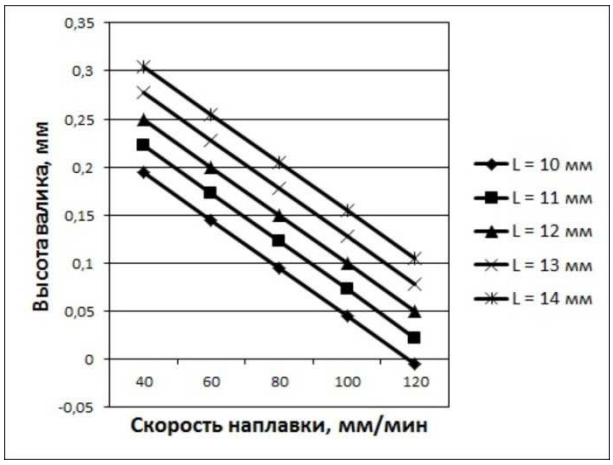


Рис. 5. Зависимость высоты валика от скорости наплавки для сплава ПГ-12Н-01

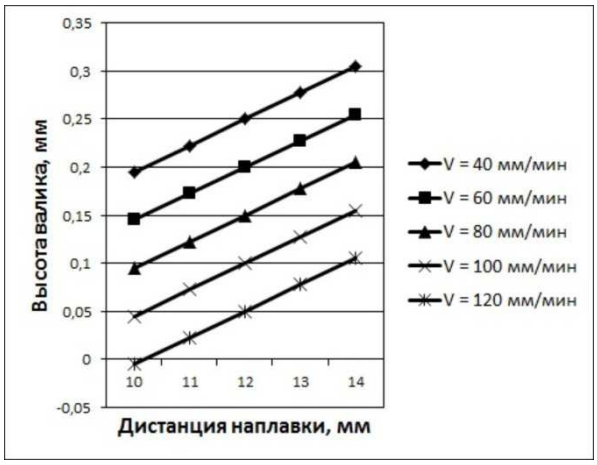


Рис. 6. Зависимость высоты валика от дистанции наплавки для сплава ПГ-12Н-01

На рис. 4 и 8 показаны зависимости ширины валиков из сплава ПГ-12Н-01 и бронзы ПГ-19М-01 от дистанции наплавки. Видно, что при увеличении дистанции наплавки ширина валиков уменьшается. Это объясняется тем, что увеличение дистанции наплавки приводит к уменьшению пятна нагрева и, как следствие, к уменьшению ширины валика.

Зависимости высоты валиков из сплава ПГ-12Н-01 и бронзы ПГ-19М-01 от скорости наплавки приведены на рис. 5 и 9. При увеличении скорости наплавки высота валиков заметно уменьшается. Так же как для ширины валиков такую зависимость можно объяснить тем, что с увеличением скорости наплавки один и тот же объем наносимого материала распределяется на большей длине валика.

Несколько другой вид имеют зависимости высоты валиков из сплава ПГ-12Н-01 и бронзы ПГ-19М-01 от дистанции наплавки. Из рис. 6 и 10 видно, что при увеличении дистанции наплавки высота валиков также увеличивается. Это связано с тем, что с увеличением дистанции наплавки пятно нагрева

уменьшается, но за счет поступления одного и того же количества порошка высота валиков увеличивается.

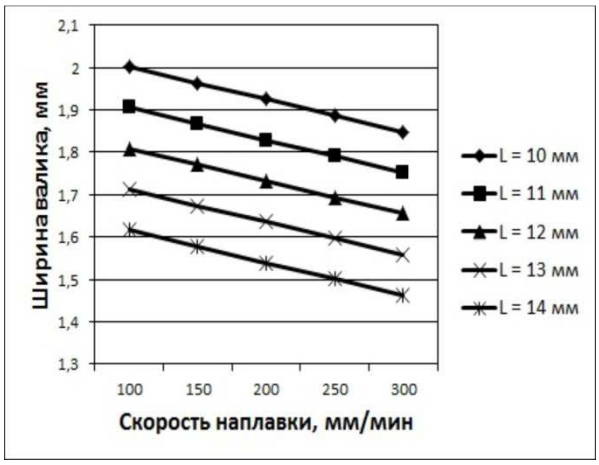


Рис. 7. Зависимость ширины валика от скорости наплавки для бронзы ПГ-19М-01

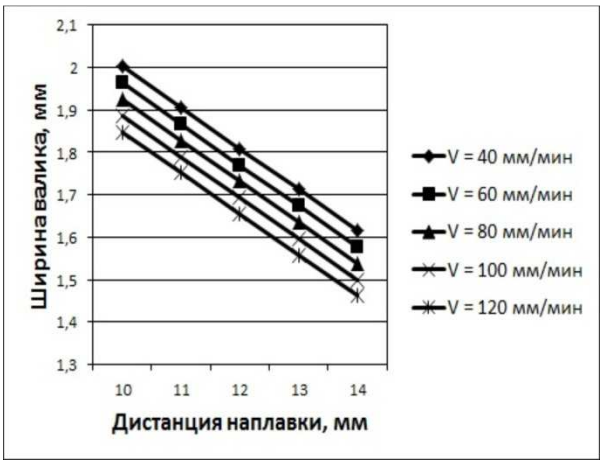


Рис. 8. Зависимость ширины валика от дистанции наплавки для бронзы ПГ-19М-01

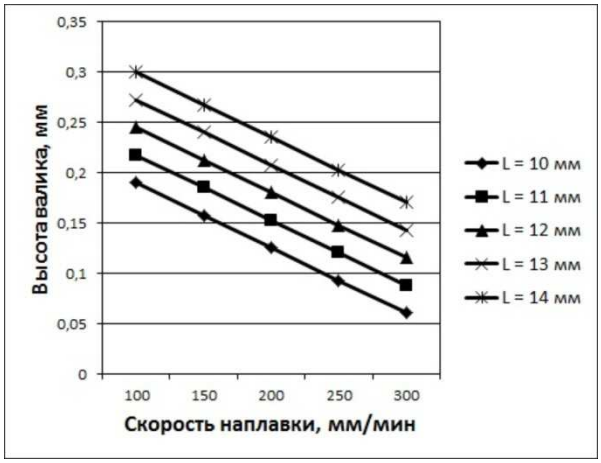


Рис. 9. Зависимость высоты валика от скорости наплавки для бронзы ПГ-19М-01

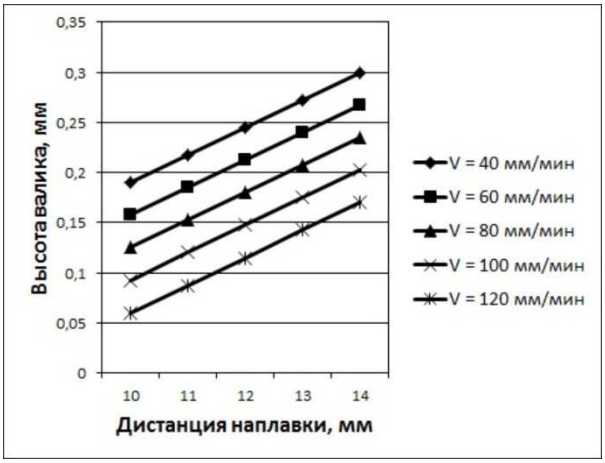


Рис. 10. Зависимость высоты валика от дистанции наплавки для бронзы ПГ-19М-01

Таким образом, проведенные исследования показали, что режимы лазерной наплавки оказывают существенное влияние на размеры поперечного сечения наплавленных валиков из сплава ПГ-12Н-01 и бронзы ПГ-19М-01. Полученные зависимости позволяют производить выбор скорости и дистанции наплавки для получения требуемых величин высоты и ширины валиков. Результаты исследований весьма важны для проектирования и нанесения мультимодальных композиционных покрытий, так как дают возможность с высокой точностью получить необходимую архитектуру мультимодальных слоев.

Список литературы: 1. Лазерные технологии обработки материалов: современные проблемы фундаментальных исследований и прикладных разработок/ Под ред. В.Я. Панченко. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2009. – 664 с. **2.** Шишковский, И.В. Лазерный синтез функционально-градиентных мезоструктур и объемных изделий/ И.В. Шишковский – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2009, - 424 с.

РАЗВИТИЕ ИННОВАЦИОННЫХ МЕТОДОВ РАСЧЕТА СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ НА ПРИМЕРЕ ПРОГРАММ CSOFT

Джура С.Г., Чурсинов В.И, Якимишина В.В. *(ДонНТУ, г. Донецк, ДНР)*
Тел/факс. +38 (062) 337-32-66; +38 (062) 304-12-78. E-mail: dzhura@roerich.com

Abstract: *In this work the existing computational methods of systems of power supply are analysed, their merits and demerits are defined, offers on their perfecting on the basis of developments of scientists of DONNTU are made and also the conclusion is drawn on expediency of the offer on their introduction in the software product by group of companies of the CSOFT companies (Russian Federation), cooperation with which successfully develops in the latest time.*
Key words: *innovative methods, system of power supply, CSOFT.*

Введение. Донецкий национальный технический университет (ДонНТУ) имеет большой опыт в реализации международных проектов, в том числе и по созданию авторизированных центров ведущих фирм мира, в частности в области электроэнергетики [1]. Так в ДонНТУ успешно функционируют центры таких мировых промышленных лидеров электроэнергетики как Simens, Schnider-Electric, Muller-Electric [2]. В связи с начавшейся гражданской войной и историческим выбором Донбасса на воссоединение с Большим Русским Миром, а также ориентацией Донецкой Народной Республики на стандарты Российской Федерации, ДонНТУ подписал договор о сотрудничестве с ведущей российской группой компаний CSoft, которая осуществляет консалтинг и внедрение комплексных решений в области систем автоматизированного проектирования (САПР), технологической подготовки производства (ТПП), документооборота и геоинформационных систем (ГИС) [3]. Большая часть ее решений базируется на уникальном сочетании мировых и отечественных разработок от CSoft Development, «Нанософт», Bentley, Oracle, CEA Technology, Siemens, Canon, Contex, Oce и других ведущих компаний [3]. По договору о сотрудничестве группа компаний CSoft в 2016 году предоставила ДонНТУ учебные лицензии на 9 программных продуктов по проектированию электроснабжения промышленных предприятий (каждая по 30 рабочих мест). Это большая помощь во время гражданской войны. Студенты и преподаватели ДонНТУ сердечно благодарят компанию CSoft и активно внедряют ее продукты в учебный процесс [4-7].

Постановка задачи. Целью написания данной статьи является аргументация позиции ДонНТУ по вопросу сотрудничества с компанией CSoft. Мировой опыт проектирования говорит о том, что известна аксиома программного обеспечения о том, что нельзя создать сложный продукт абсолютно свободный от недостатков.

И дело тут даже не в самих ошибках (известные разработчикам устраняются в новых версиях), а в стремлении в идеалу – совершенствованию самих методов расчета, а также о том что ДонНТУ есть свои разработки, которые целесообразно предложить нашим российским коллегам, чтобы быть не только потребителем в данном случае программного продукта, а и тем, кто может внести посильный вклад в его совершенствование. Таким образом, проанализируем современные методы расчета систем электроснабжения и сделаем вывод о целесообразности применения того или иного метода, а также место ученых ДонНТУ в этом процессе.

Анализ существующих методов расчета. Из известных публикаций с нашей точки зрения наиболее интересным сравнительным анализ проблемы дан в работе [8].

Каждый из указанных методов имеет свои достоинства и недостатки. Методы приведены в порядке их исторического принятия. Каждая конкретная задача определяет и выбор метода ее решения. Разработчик должен владеть разными методами расчета и знать когда их применить. Расчет нагрузок на разных уровнях электроснабжения проводится различными методами в зависимости от исходных данных и требований точности. Обычно

расчет ведут от низших уровней к высшим (по напряжению). Однако при проектировании крупных предприятий иногда целесообразно вести расчеты от верхних уровней к нижним. В этом случае рекомендуют пользоваться комплексным методом расчета. За основу обычно берут информационную базу аналогичного предприятия (по профилю). При этом сначала решают вопросы электроснабжения предприятия в целом, заметем его комплекса цехов, а также всех потребителей, питающихся от одной распределительной подстанции [8].

Группа компаний CSOFT пользуется методиками расчета ОАО «Институт Теплоэлектропроект» [9]. Видно, что указанный институт уделяет большое внимание развитию методов проектирования и обмену опытом и методиками расчетов. Пресс-служба ОАО «Институт Теплоэлектропроект» сообщает, что 3-6 июня 2013 года специалисты ОАО «Институт Теплоэлектропроект» И.И. Шабанов и С.Н. Абрамов приняли участие в обучающем семинаре «Сравнительная оценка подходов к энергосбережению в России и Австрии: опыт применения механизмов энергосервисных контрактов». По результатам семинара институтом получен сертификат Российского Энергетического Агентства. С российской стороны организаторами выступали: Российское энергетическое агентство Министерства энергетики Российской Федерации при поддержке Федеральной энергосервисной компанией (ФЭСКО), с австрийской: Австрийское энергетическое агентство (AEA) и Ассоциация энергосервисных компаний Австрии (DECA) [9].

Открытое обсуждение методик расчетов на форуме проектировщиков электрических и слаботочных сетей [10] подтверждает, что программный комплекс CSOFT позволяет решать такие задачи как определение расчетных токовых нагрузок для всех элементов распределительной сети различными методами (по коэффициентам загрузки электродвигателей и коэффициентам одновременности максимумов в узлах сети, по методу института «Теплоэлектропроект», по коэффициентам расчетной мощности в соответствии с «Указаниями по расчету электрических нагрузок РТМ 36.18.32.4-92»);

В программе наряду с расчетом мгновенного режима сети осуществляется и определение расчетных токов в элементах сети.

Для определения расчетных нагрузок в программе на выбор предоставляется 3 метода, которые можно поменять в команде "Общие свойства модели":

1) По умолчанию принимается метод учитывающий коэффициенты загрузки оборудования и коэффициенты одновременности в узлах (Кз и Ко), этот метод может быть эквивалентен методу расчета по коэффициенту спроса;

2) Метод института «Теплоэлектропроект» (ТЭП), рекомендуется для собственных нужд ТЭС;

3) Метод института «Тяжпромэлектропроект» (ТПЭП), рекомендуется для машиностроительных предприятия, ремонтных мастерских и т.п.

Результаты расчета по каждому методу так же можно документировать с применением шаблона в MS Word [10].

Мы полагаем, что метод кафедры ЭПГ ДонНТУ, который мы рассмотрим ниже можно внести в меню как один из вариантов и сравнить его применение с указанными. Мы уже это сделали в учебных проектах и получили, что результаты расчетом по программе CSOFT несколько завышены, что может быть полезно для развития производства, если оно выполнено по таким результатам, но может быть и не экономно, если такового не планируется.

Если сравнить программный продукт компании CSOFT с конкурентами, то Конкурентов у EnergyCS Электрика не так уж много, но есть [10]:

Сравнение EnergyCS Электрика (CSoft) с конкурентными программами [10]:

1. Продукт Winelso (Русская промышленная компания [11]).

Недостатком можно считать тот факт, что оформление документа совмещено с созданием модели, а также повышенная трудоемкость во время разработки схемы.

Предлагаются упрощенные расчеты. Не применимо для энергообъектов и сложных случаев производств. Не все расчеты раскрыты.

Достоинством является простота оформления выходной документации, так как она создается на этапе ввода модели.

2. Программа Guexpert (Московский энергетический институт [12])

Недостатком является тот факт, что программа написана для MS DOS. Выполняет только расчет токов короткого замыкания для одного заданного режима. Расчет хороший с учетом всех требований, но только расчет токов короткого замыкания. Есть оценка селективности в отдельном модуле. Выбора оборудования нет. Расчет постоянного тока в отдельном модуле. К достоинствам можно отнести более широкую подготовку данных, так как задача существенно более узкая.

3. Программа Pixma от компании Shneider ElectriC [13].

Недостатком является ориентация на одного производителя оборудования. Нет соответствующих интерфейсов. Достоинством является получение прямое решение на множестве оборудования одной фирмы.

Решение задачи и предложения от ДонНТУ. На кафедре электроснабжения промышленных предприятий (ЭПГ) ДонНТУ системно ведется совершенствование методов расчета систем электроснабжения [14-17].

Так, согласно [17] в основу действующих Указаний [18] положен метод упорядоченных диаграмм (УД), предложенный профессором Г.М. Каяловым [19,20]. Метод сыграл значительную роль в становлении теории нагрузок и практики расчетов. Однако стремление к уменьшению объема исходной информации с целью упрощения расчетов обусловило принципиальную неточность метода упорядоченных диаграмм. В статье рассматриваются методы расчета, которые могут быть использованы для разработки новых Указаний по определению электрических нагрузок. Аргументируются недостатки действующих указаний. При этом раскрывается физический смысл предлагаемых методов, но не сама методика практических расчетов (исходные справочные данные, расчетные кривые, примеры расчетов, программа вычислений на ЭВМ). Приводится инерционный и квадратичный метод и метод имитации, а также метод эквивалентного параметра корреляционной функции [17].

Авторы приходят к выводу о том, что принятое в действующих Указаниях понятие расчетной нагрузки по нагреву в виде «инерционного» максимума десятиминутной тепловой нагрузки отражает физику задачи. Понятие же «кумулятивного» максимума получасовой средней нагрузки из ПУЭ [18] приводит к противоречащим смыслу результатам.

Метод УД сыграл положительную роль в развитии теории электрических нагрузок, но в настоящее время требует замены из-за существенного завышения расчетных нагрузок. Определение расчетных электрических нагрузок по нагреву целесообразно выполнять точным методом имитации, допуская применение инженерных методов: инерционного и квадратичного.

Таким образом предлагаем пилотный проект: ввести в следующую версию программ CSOFT указанные методики в дополнение к уже действующим.

Выводы. Согласно приведенному анализу, логично сделать вывод о целесообразности внесения в новые версии программного комплекса CSOFT новых методик, предложенных кафедрой ЭПГ ДонНТУ и провести их тестирование (как это уже проведено в ДонНТ и отражено в методических указаниях [19,20]) в других вузах и проектных организациях чтобы сделать объективный вывод о целесообразности внесения изменений в действующие нормативные указания [21], а пока использовать как пилотный проект и аргументированную альтернативу для проектирования систем электроснабжения разной сложности.

Список литературы: 1. Донецкий национальный технический университет (ДонНТУ). Официальный сайт. - Режим доступа: http://donntu.org/ 2. Авторизированные центры обучения ДонНТУ. - Режим доступа: http://donntu.org/centr-obucheniya-schneider-electric 3. Группа компаний CSOFT. Официальный сайт. - Режим доступа: http://www.csoft.ru/ 4. Кафедра ЭПГ получила уникальный дар // Официальный сайт ДонНТУ. - Режим доступа: http://donntu.org/news/id201610131436 5. Студенты ДонНТУ получили новое программное обеспечение для использования в учебном процессе от российской группы компаний CSoft // Официальный сайт Министерства образования Донецкой Народной Республики. – Режим доступа: http://mondnr.ru/vysshee-professionalnoe-obraz/item/889-studenty-donntu-poluchili-novoe-programmnoe-obespechenie-dlya-ispolzovaniya-v-uchebnom-protsesse-ot-rossijskoj-gruppy-kompanij-csoft 6. Донецкий политехник. Видео-журнал. Выпуск 12 от 15.10.2016. - Режим доступа: https://youtu.be/hlBCHwgPdYY?t=165 7. Семинар по презентации программ CSoft на электротехническом факультете очень впечатлил специалистов ДПИ НИИ «Теплоэлектропроект». // Донецкий национальный технический университет (ДонНТУ). Официальный сайт. - Режим доступа: http://donntu.org/news/id201711091127 8. Кабышев А.В., Обухов С.Г. Расчет и проектирование систем электроснабжения: Справочные материалы по электрооборудованию: Учеб. пособие / Том. политехн. ун-т. – Томск, 2005. – 168 с. – Режим доступа: http://portal.tpu.ru:7777/departments/kafedra/espp/literatura/Tab/M_Kabishev_Obuhov_Raschet.pdf 9. Официальный сайт акционерного общества «Институт Теплоэлектропроект». – Режим доступа: http://www.tep-m.ru/ 10. Форум проектировщиков электрических и слаботочных сетей. Режим доступа: http://eom.com.ua/index.php?topic=6532.0 11. Русская промышленная компания. Официальный сайт. Режим доступа: https://winelso.ru/ 12. Московский энергетический институт. Программа GUEXPERT. Официальный сайт. - Режим доступа: http://es.mpei.ac.ru/guexpert.htm 13. Компания «Schneider Electric». Официальный сайт. – Режим доступа: https://www.schneider-electric.com/en/product-category/5100-software/ 14. Левшов А.В., Джура С.Г., Бершадский И.А. Введение в электротехнические САПР группы компаний CSOFT. – Донецк : ДОННТУ, 2017. – Режим доступа: http://iic.roerich.com/russian/ovs/_intro_CAD_CSOFT_2017_.pdf 15. Шидловский А.К., Вагин Г.Я., Куренный Э.Г. Расчеты электрических нагрузок систем электроснабжения промышленных предприятий. - М.: Энергоатомиздат, 1992. - 224 с. 16. Куренный Э.Г., Дмитриева Е.Н., Погребняк Н.Н. Совершенствование методов расчета электрических нагрузок // Промышленная электроэнергетика и электротехника. Выпуск 4. Серия КВ, №2079. – 1997. – с. 14-28. Режим доступа: http://masters.donntu.org/2006/eltf/belyaev/library/ist_2.htm 17. Куренный Э.Г., Дмитриева Е.Н., Погребняк Н.Н. Развитие методов расчета электрических нагрузок // «Известия вузов. Электромеханика». 2004. - с. 43-45. 18. Правила устройства электроустановок. – М.: Кнорус, 2015. – 488 с. 19. Методическое пособие и справочные материалы к выполнению курсового проекта по курсу «Электроснабжение промышленных предприятий» (проектирование цеховой электрической сети)/И.А. Бершадский и др. – Донецк: ДонГТУ, 2008. – 99 с. 20. Методическое пособие и справочные материалы к выполнению дипломной работы квалификационного уровня бакалавр по направлению «Электроэнергетика и электротехника» / Сост.: Э.Г. Куренный, А.Д. Коломытцев В.В. Якимишина. – Донецк: ДонНТУ, 2016. – 20 с. 21.Указания по расчету электрических нагрузок. Руководящий технический материал. Проектирование электроустановок. О расчете электрических нагрузок. (технический циркуляр ВНИГМ Тяжпромэлектропроект. № 359-92 от 30 июля 1992 г. – Режим доступа: https://znaytovar.ru/gost/2/RTM_361832492_Ukazaniya_po_ras.html

НЕКЛАССИЧЕСКИЙ ПОДХОД К РЕШЕНИЮ СТАТИЧЕСКОЙ КРАЕВОЙ ЗАДАЧИ

Дуйшеналиев Т.Б., Дуйшембиев А.С., *(КыргГТУ, Бишкек, Кыргызстан)*,
Хроматов В.Е., Щугорев В.Н. *(НИУ МЭИ, Москва, Россия)*
Тел.: +996 (312) 545150, E-mail: duishenaliev@mail.ru

Abstract: *To solve a static boundary value problem, two assumptions are used: 1) the final state of the body differs a little from the initial state; 2) forces are applied so slowly that any of their values corresponds to a state of equilibrium. These assumptions are necessary, because without them the problem in the classical approach is not mathematically defined and contradicts the fundamentals of mechanics.*

In this article a different approach to solve the static boundary value problem in strict accordance with its generally accepted formulation is given. The fact that the body with the given forces in the volume and on the surface is in equilibrium is the initial one. The domain of equilibrium equations and compatibility of deformations, as well as boundary conditions, is the final state of equilibrium. This state is considered to be given, and not the desired one. Otherwise, it is impossible to indicate the positions of the forces distributed in the volume and on the surface of the body.

Keywords: *boundary value problem, equilibrium equations, boundary conditions, strain tensor, stress tensor, displacement field.*

Общепризнанная постановка статической краевой задачи. Тело с заданными силами внутри своего объема V и на его поверхности S находится в равновесии. Необходимо найти напряжения и деформации внутри тела.

Пусть f_i и p_i соответственно внешние силы, заданные в V и на S. Обозначая через σ_{ij} компоненты напряжения, представим постановку математически:

$$\sigma_{ji,j} + f_i = 0, \quad \sigma_{ij} = \sigma_{ji}, \; x_i \in V , \tag{1}$$

$$\sigma_{ij,kk} + \frac{1}{1+\nu}\sigma_{kk,ij} + \frac{\nu}{1-\nu}\delta_{ij} f_{k,k} + f_{i,j} + f_{j,i} = 0, \; x_i \in V , \tag{2}$$

$$\sigma_{ji} n_j = p_i, \; x_i \in S , \tag{3}$$

где ν коэффициент Пуассона.

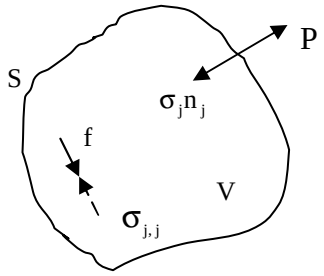


Рис. 1. Иллюстрация уравнений статической краевой задачи. В любой точке внутри V и на S внешние силы уравновешены внутренними напряжениями

σ_j –вектор напряжения на площадке с нормалью x_j .

Постановка задачи классического подхода. Известно начальное состояние тела (объем V_0, поверхность S_0). К нему прикладываются внешние силы и оно, двигаясь и деформируясь, переходит в другое состояние (V,S), в котором обретает равновесие. Необходимо найти конечное состояние равновесия и, появившиеся в нем, напряжения, деформации.

Уравнения статической краевой задачи имеют силу только в состоянии равновесия. В постановке задачи классического подхода это состояние неизвестно, оно ищется. Уравнения этой задачи можно написать только в неопределенном виде:

$$\sigma_{ji,j} + f_i = 0, \ \sigma_{ij} = \sigma_{ji}, \ x_i \in V, \tag{4}$$

$$\sigma_{ij,kk} + \frac{1}{1+\nu}\sigma_{kk,ij} + \frac{\nu}{1-\nu}\delta_{ij} f_{k,k} + f_{i,j} + f_{j,i} = 0, \ x_i \in V, \tag{5}$$

$$\sigma_{ji} n_j = p_i, \ x_i \in S. \tag{6}$$

Тут область определения уравнений (V,S) неизвестна. Для тела неизвестной конфигурации невозможно указать координаты точек приложения массовых сил, а так же сил на поверхности, следовательно, в уравнениях (4)-(6) неизвестны и f, p.

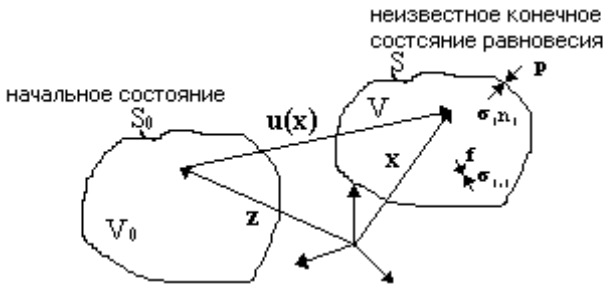


Рис. 2. Иллюстрация задачи классического подхода – к начальному состоянию (V_0,S_0) прикладываются внешние силы и тело, двигаясь и деформируясь, переходит в конечное состояние (V,S), где обретает равновесие

В задаче (4)-(6) неизвестны не только V,S, но и внешние силы f, p. Тут эта задача приобретает следующее содержание - найти решение дифференциальных уравнений равновесия и совместности с неизвестными силами в неизвестной области V, удовлетворяющее неизвестным условиям на неизвестной поверхности S.

Здесь начальное состояние нагружается внешними силами и оно, двигаясь и деформируясь, переходит в некое состояние равновесия, которое надо найти.

Неклассическое решение статической краевой задачи

Вернемся к общепризнанной постановке статической краевой задачи. Решением, которое строго соответствует этой постановке подразумеваются функции $\sigma_{ij}(x)$, удовлетворяющие уравнениям (1)-(3).

Определение деформаций и перемещений. Пусть, известно неклассическое решение $\sigma_{ij}(x)$ статической краевой задачи. Из него легко определяются деформации:

$$\varepsilon_{ij} = \frac{1}{E}(-\nu\,\delta_{ij}\,\sigma_{kk} + (1+\nu)\,\sigma_{ij}), \tag{18}$$

где E модуль Юнга. Далее определяем перемещения $u_i(x)$ по формулам Чезаро:

$$u_i(x)=u_i(x^0)+\omega_{ij}(x^0)(x_j-x_j^0)+\frac{1}{E}\int_{\ell}(\varepsilon_{ik}(y)+(x_j-y_j)(\varepsilon_{ki,j}(y)-\varepsilon_{kj,i})))dy_k,$$

где ℓ - линия в области V, x^0 – начальная точка этой линии, $u_i(x^0)$, $\omega_{ij}(x^0)$ - постоянные интегрирования. Удобнее пользоваться не этой формулой, а ее преобразованным видом [1]:

$$u_i(x)= u_i(x^0) + \omega_{ij}(x^0)\,(x_j - x_j^{\,0}) +$$

$$\frac{1}{E}\int_{\ell}(-\nu\delta_{ik}\sigma_{tt} + (1+\nu)(\sigma_{ik} + (x_j - y_j)(-\nu(\delta_{ki}\sigma_{tt,j} - \delta_{kj}\sigma_{tt,i}) + (1+\nu)(\sigma_{ki,j} - \sigma_{kj,i})))dy_k .$$

В этих выражениях $u_i(x^0)$, $\omega_{ij}(x^0)$ - произвольные постоянные. Они соответствуют не вызывающим деформации перемещениям (параллельному переносу и жесткому повороту тела). В дальнейшем можем исключить из рассмотрения такие перемещения. В этом случае

$$u_i(x)=\frac{1}{E}\int_{\ell}(-\nu\delta_{ik}\sigma_{tt}+(1+\nu)(\sigma_{ik}+(x_j-y_j)(-\nu(\delta_{ki}\sigma_{tt,j}-\delta_{kj}\sigma_{tt,i})+(1+\nu)(\sigma_{ki,j}-\sigma_{kj,i})))dy_k. \quad (19)$$

Сравниваемое состояние. Как показано на рис.3, векторы

$$z_i = x_i - u_i(x),\ x_i \in V,\quad z_i = x_i - u_i(x),\ x_i \in S \quad (20)$$

определяют некоторую область V_0 и ее поверхность S_0. (V_0,S_0), очевидно, состояние равновесия без внешних сил. Назовем его сравниваемым состоянием.

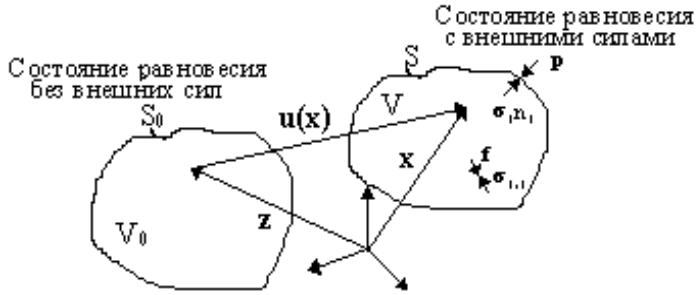


Рис. 3. Состояние равновесия и сравниваемое состояние

Положение тела, заданное в уравнениях (1)-(3), незыблемо. Оно занимало областьV, ограниченную поверхностью S, до решения и остается там же и после решения. Определяемое координатами z_i (20) сравниваемое состояние есть некое математическое преобразование области (V,S). Поле $u_i(x)$ определяет относительные изменения координат, компонент деформации, вращения и напряжения этих состояний. Эту относительность можно представить в виде

$$x_i - z_i = u_i(x),\ \varepsilon_{ij}(x) - \varepsilon_{ij}(z) = (u_{i,j}+u_{j,i})/2,\quad \omega_{ij}(x) - \omega_{ij}(z) = (u_{i,j}-u_{j,i})/2,$$
$$\sigma_{ij}(x) = \lambda\delta_{ij}u_{k,k} + \mu(u_{i,j}+u_{j,i}). \quad (21)$$

Тут x_i ,$\varepsilon_{ij}(x)$, $\omega_{ij}(x)$, $\sigma_{ij}(x)$ относятся к положению равновесия с внешними силами, а z_i, $\varepsilon_{ij}(z)$, $\omega_{ij}(z)$ - к положению равновесия без внешних сил.

Поле $u_i(x)$ только преобразует (V,S) в (V_0,S_0), следовательно, оно определяет только относительные изменения координат, деформаций и напряжений этих сравниваемых состояний**.**

Задача о равновесии прямоугольной плиты

Неклассическое решение. Продемонстрируем корректность выдвинутых выше новых положений на строго решенном примере. Зададимся областью определения уравнений статической краевой задачи в виде указанной на рис.4 прямоугольной плиты. Начало прямоугольной декартовой системы координат поместим в центре левой торцевой грани. Итак, под V будем подразумевать следующую область

$$-b/2 \le x_1 \le b/2,\ 0 \le x_2 \le \ell,\ -h/2 \le x_3 \le h/2, \quad (22)$$

Рассмотрим вторую краевую задачу без массовых сил.

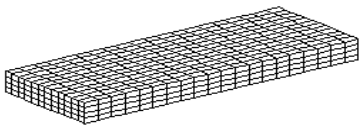


Рис. 4. Прямолинейная плита с усилиями (25) на своей поверхности находится в равновесии

$$\sigma_{ji,j} = 0,\ \sigma_{ij} = \sigma_{ji},\quad x_i \in V, \tag{23}$$

$$\sigma_{ij,kk} + \frac{1}{1+\nu}\,\sigma_{kk,ij} = 0,\quad x_i \in V, \tag{24}$$

$$\sigma_{ji}\, n_j = \delta_{i2}\, c\, x_3,\quad x_i \in S, \tag{25}$$

где V определяется выражениями (22). Из (25) следует, что на четырех гранях плиты нет внешних сил, они приложены на левую и правую торцевые грани, создают изгибающие моменты, равные соответственно

$$m_1 = -\int_{-b/2}^{b/2}\int_{-h/2}^{h/2} c\, x_1^2 dx_1\, dx_2 = -cbh^3/12,\ m_2 = \int_{-b/2}^{b/2}\int_{-h/2}^{h/2} c\, x_1^2 dx_1\, dx_2 = cbh^3/12$$

Задача (23) - (25) математически полностью определена. Она имеет простой механический смысл - прямоугольная плита с усилиями (25) на своей поверхности находится в равновесии. Требуется найти во внутренних точках этой плиты напряжения, деформации и создавшие их перемещения. Как видим, здесь нет никакого отступления от общепринятой постановки статической краевой задачи.

Неклассическое решение задачи

$$\sigma_{ij} = \delta_{i2}\,\delta_{j2}\, c x_3,\ x_i \in V. \tag{26}$$

Функции перемещений можно определить, внося (26) в (19)

$$u_i = \frac{1}{E}\int_{\ell} c(-\nu\delta_{ik}x_3 + (1+\nu)\delta_{i2}\delta_{k2}x_3 + (x_j - y_j)(-\nu(\delta_{ki}\delta_{3j} - \delta_{kj}\delta_{3i}) + (1+\nu)\delta_{k2}(\delta_{i2}\delta_{3j} - \delta_{j2}\delta_{3i})))dy_k,\ x_i \in V.$$

Интегрируя это выражение, находим

$$u_i(x) = -c\,(\delta_{i1}\nu\, x_3\,(x_1 - x_1^0) - \delta_{i2}x_3\,(x_2 - x_2^0) + \delta_{i3}\,(x_2^2 + \nu\,(x_3^2 - x_1^2) - x_2^0\,(2x_2 - x_2^0) - \nu\,((x_3^0)^2 - x_1^0\,(2x_1 - x_1^0)))/2)/E,\ x_i \in V, \tag{27}$$

где x_i^0 - любая фиксированная точка области V. Приведем развернутый вид функций (27):

$$u_1(x) = -c\ \nu\, x_3(x_1 - x_1^0)/E,\ x_i \in V$$

$$u_2(x) = c\, x_3\,(x_2 - x_2^0)/E,\ x_i \in V$$

$$u_3(x) = -c\,((x_2^2 + \nu\,(x_3^2 - x_1^2) - x_2^0(2x_2 - x_2^0) - \nu\,((x_3^0)^2 - x_1^0(2x_1 - x_1^0)))/(2E),\ x_i \in V$$

Функции (27) удовлетворяют уравнениям равновесия в форме Навье.

Наконец, из поля перемещений (27) определим компоненты деформации и вращения

$$\varepsilon_{ij} = c\, x_3\,(-\nu\,(\delta_{i1}\,\delta_{j1} + \delta_{i3}\,\delta_{j3}) + \delta_{i2}\,\delta_{j2})/E.\ x_i \in V. \tag{28}$$

$$\omega_{ij} = -c\,(\nu\,(x_1 - x_1^0)(\delta_{1i}\delta_{3j} - \delta_{3i}\,\delta_{1j}) - (x_2 - x_2^0)(\delta_{2i}\,\delta_{3j} - \delta_{3i}\,\delta_{2j}))/E,\ x_i \in V. \tag{29}$$

По полученным здесь выражениям в любой точке находящегося в равновесии в области V тела можно определить компоненты напряжения, деформации и вращения. Особо отметим то, что во всех выражениях (26) – (29) координаты только области V (22). Здесь нет обычного координатного разночтения. В $u_i(x)$, $\sigma_{ij}(x)$ одни и те же координаты.

Различие между координатами, деформациями, напряжениями сравниваемого и заданного состояний, определяемыми уравнениями (21), имеет вид

$$x_i - z_i = -c(\delta_{i1}\,\nu\, x_3(x_1 - x_1^0) - \delta_{i2}\, x_3\,(x_2 - x_2^0) +$$
$$+\delta_{i3}(x_2^2 + \nu(x_3^2 - x_1^2) - x_2^0(2x_2 - x_2^0) - \nu((x_3^0)^2 - x_1^0(2x_1 - x_1^0)))/2)/E$$
$$\varepsilon_{ij}(x) - \varepsilon_{ij}(z) = c x_3\,(-\nu(\,\delta_{i1}\,\delta_{j1} + \delta_{i3}\,\delta_{j3}) + \delta_{i2}\,\delta_{j2})/E \qquad (30)$$
$$\omega_{ij}(x) - \omega_{ij}(z) = -c(\nu(x_1 - x_1^0)\,(\delta_{1i}\delta_{3j} - \delta_{3i}\,\delta_{1j}) - (x_2 - x_2^0)(\delta_{2i}\,\delta_{3j} - \delta_{3i}\,\delta_{2j}))/E,$$
$$\sigma_{ij}(x) = \delta_{i2}\,\delta_{j2}\,c x_3,$$

Сравниваемое состояние. Координаты сравниваемого состояния z_i связаны с координатами рассматриваемого состояния равновесия выражениями

$$z_i = x_i - c\,(\delta_{i1}\,\nu\, x_3(x_1 - x_1^0) - \delta_{i2}\, x_3\,(x_2 - x_2^0) + \delta_{i3}(x_2^2 + \nu\,(x_3^2 - x_1^2) -$$
$$-x_2^0(2x_2 - x_2^0) - \nu\,((x_3^0)^2 - x_1^0(2x_1 - x_1^0)))\,/\,2)\,/\,E\,, \quad x_i \in V. \qquad (31)$$

В качестве x^0 можно брать координаты любой точки области (22). В дальнейшем положим $x_1^0 = 0,\ x_2^0 = \frac{\ell}{2},\ x_3^0 = 0$.

Рассмотрим три случая c = 0, c =30, c = 60.

1. Пусть в c=0. На поверхности S внешних сил нет. Тело занимает область V (22) и находится в равновесии. Выражения (30) принимают вид.

$$x_i - z_i = 0,$$
$$\varepsilon_{ij}(x) - \varepsilon_{ij}(z) = 0,$$
$$\omega_{ij}(x) - \omega_{ij}(z) = 0, \qquad (32)$$
$$\sigma_{ij}(x) = 0.$$

Сравниваемое состояние совпадает с заданным. Заданное состояние может иметь любые остаточные деформации или не иметь их. Подставляя первое из уравнений (32) в остальные, приходим к неопределенности

$$\varepsilon_{ij}(x) - \varepsilon_{ij}(x) = 0, \quad \omega_{ij}(x) - \omega_{ij}(x) = 0, \quad \sigma_{ij}(x) = 0.$$

Здесь $\varepsilon_{ij}(x)$, $\omega_{ij}(x)$ остаются неопределенными. Такая неопределенность не противоречит сути краевой задачи, а наоборот, более полно отражает то, что может быть в действительности. Ведь в равновесии может находиться не только тело, которое не имеет никаких остаточных деформаций, но и тело, которое их имеет. Рассматриваемая здесь плита, может быть, ранее имела криволинейную форму, а затем выпрямлена и выточена. Если это так, то в ней есть остаточные деформации.

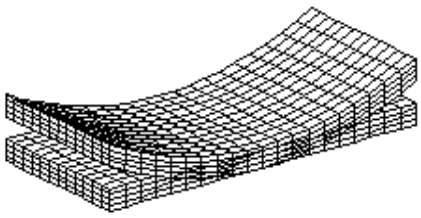


Рис. 5. Сравниваемые состояния при *c*=30

2. Пусть c= 30. Тело занимает ту же область V (22). Подставим это значение *c* в (51) и определим сравниваемое состояние (рис. 5).

3. Теперь пусть c= 60. В этом состоянии равновесия тело занимает то же положение, что и раньше, т.е. имеет форму прямоугольной плиты. Подставим это значение c в (31) и определим сравниваемое состояние (рис. 6)

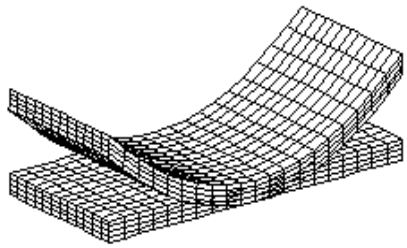


Рис. 6. Сравниваемые состояния при c=60

Во всех трех случаях тело имеет одну и ту же конфигурацию и занимает одно и то же положение в пространстве. Это положение тела недвижимо и геометрически неизменяемо при любых величинах внешней нагрузки.

Решения

$$\sigma_{ij}(x) = 0, \quad \sigma_{ij}(x) = \delta_{i2}\,\delta_{j2}\,30x_3, \quad \sigma_{ij}(x) = \delta_{i2}\,\delta_{j2}\,60x_3,\ x_i \in V$$

соответствующие трем рассмотренным случаям, удовлетворяют уравнениям задачи (23)-(25) в одном и том же положении тела, а именно, в его прямолинейном очертании. О том, что граничное условие (25) удовлетворяется на поверхности соответствующих этим решениям сравниваемых состояний (рис. 5 и рис. 6), говорить не приходится.

Внешние силы являются атрибутами декларируемого уравнениями (23) –(25) равновесия и, в связи с этим, они уже никак не могут рассматриваться в роли нарушителей этого равновесия. Условие (25) ничто иное, как условие равновесия точек поверхности тела. Усилия, действующие снаружи поверхности равны усилиям $\sigma_{ji}\,n_j$, действующим изнутри.

Данную задачу представим уравнениями Навье

$$\mu\,u_{i,jj} + (\lambda + \mu)\,u_{j,ji} = 0,\ x_i \in V. \qquad (33)$$

Граничные условия для этих уравнений напишем в трех видах:

1. Заданы перемещения на поверхности S, которые определяются функцией

$$u_i(x) = -c\,(\delta_{i1}\nu x_3\,(x_1 - x_1^{\,0}) - \delta_{i2}x_3\,(x_2 - x_2^{\,0}) + \delta_{i3}\,(x_2^{\,2} + \nu\,(x_3^{\,2} - x_1^{\,2}) -$$
$$-x_2^{\,0}\,(2x_2 - x_2^{\,0}) - \nu\,((x_3^{\,0})^2 - x_1^{\,0}\,(2x_1 - x_1^{\,0}))) / 2) / E,\ x_i \in V$$

при поочередной подстановке в нее значений координат

$$x_1 = -b/2,\ x_1 = b/2,\ x_2 = 0,\ x_2 = \ell,\ x_3 = -h/2,\ x_3 = h/2\ . \qquad (34)$$

2. Заданы внешние силы на поверхности S

$$\sigma_{ji}\,n_j = \delta_{i2}\,c\,x_3, \quad x_i \in S\ . \qquad (35)$$

3. Заданы на четырех гранях перемещения, которые определяются функцией

$$u_i(x) = -c\,(\delta_{i1}\nu\,x_3\,(x_1 - x_1^{\,0}) - \delta_{i2}\,x_3\,(x_2 - x_2^{\,0}) + \delta_{i3}\,(x_2^{\,2} + \nu\,(x_3^{\,2} - x_1^{\,2}) -$$
$$-x_2^{\,0}(2x_2 - x_2^{\,0}) - \nu((x_3^{\,0})^2 - x_1^{\,0}(2x_1 - x_1^{\,0}))) / 2) / E,$$

в которую поочередно надо подставить следующие значения координат $x_1 = -b/2$, $x_1 = b/2$, $x_2 = -h/2$, $x_1 = h/2$, а на остальных двух гранях

$$\sigma_{ij}(x_1,0,x_3) = -\,\delta_{i2}\,c\,x_3,\ \sigma_{ij}(x_1,\ \ell\ ,x_3) = \delta_{i2}\,c\,x_3\ . \qquad (36)$$

Статическая краевая задача имеет единственное решение. Решение задач (33),(34); (33),(35); (33),(36)

$$u_i(x) = -c\,(\delta_{i1}\nu x_3\,(x_1 - x_1^{\,0}) - \delta_{i2}x_3\,(x_2 - x_2^{\,0}) + \delta_{i3}\,(x_2^{\,2} + \nu\,(x_3^{\,2} - x_1^{\,2}) -$$
$$-x_2^{\,0}\,(2x_2 - x_2^{\,0}) - \nu\,((x_3^{\,0})^2 - x_1^{\,0}\,(2x_1 - x_1^{\,0}))) / 2) / E,\ x_i \in V \qquad (37)$$

то же самое, что и задачи (23)-(25). Это легко показать. Из (37) находим

$$u_{k,k} = c(1-2\nu)x3/E; \quad u_{i,j} + u_{j,i} = 2cx3(\delta_{i2}\delta_{j2} - \nu(\delta_{i1}\delta_{j1} + \delta_{i3}\delta_{j3}))/E.$$

Подставим эти величины в выражение для $\sigma_{ij}(x)$

$$\sigma_{ij}(x) = \lambda\delta_{ij}\,u_{k,k} + \mu(\,u_{i,j} + u_{j,i}\,) = cx_3(\delta_{i2}\delta_{j2} + \nu(\delta_{ij} - \delta_{i1}\delta_{j1} - \delta_{i3}\delta_{j3}))/(1+\nu).$$

Далее, учитывая равенство $\delta_{i2}\delta_{j2} = \delta_{ij} - \delta_{i1}\delta_{j1} - \delta_{i3}\delta_{j3}$, находим

$$\sigma_{ij}(x) = \delta_{i2}\delta_{j2}\, cx_3 .$$

Механический смысл задач (23)-(25); (33),(34); (33),(35); (33),(36) один и тот же – плита в области V (22) находится в состоянии равновесия. Это состояние равновесия, разумеется, не зависит от того, решена задача или нет. Существующее представление о том, что тело перемещается на величину перемещений, удовлетворяющих дифференциальным уравнениям (33) и граничным условиям, некорректно. Во всех этих уравнениях координаты не начального, а конечного состояния. Единственно верное математическое толкование таково: найти функции $u_i(x)$, $x_i \in V$,удовлетворяющие уравнениям (33) и любому из трех видов граничных условий. Перемещения, которые заданы в первом и третьем виде граничных условий, - уже имеющиеся в теле перемещения (а не те, которые будут происходить). Решение $u_i(x)$, также представляет те перемещения, которые уже произошли и создали то напряженное состояние, которое уравновешивает внешние силы.

В заключение возвратимся к уравнениям (23) – (25). В них декларируется, что прямолинейная плита (22) с усилиями (25) на своей поверхности находится в равновесии, и определяются не нарушающие это равновесие деформации, напряжения и создавшие их перемещения. Эта задача проста и ясна. Она не стоит перед неразрешимой проблемой поиска решений в неизвестной области с неизвестной границей как задача классического подхода. В ней нет некорректных приемов линейной постановки. Ненужным оказалось ей и понятие о статическом приложении действий. В ее решении не использовано предположение о близости начального и конечного положений тела и, в виду этого, решение свободно от ограничений, накладываемых на величины перемещений. Наконец, эта задача допускает численное решение, основанное на общем решении в виде формул Сомильяны

$$u_i(x)=\int_S (u_j^i(y,x)\,p_j(y)-p_j^i(y,x)\,u_j(y))\,ds(y)\ ,\ x_i\in V,\ y_i\in S, \qquad (38)$$

где $u_j^i(y,x)$ – поле перемещений в неограниченном пространстве от единичной массовой силы, приложенной в точке x и имеющей направление оси x_i , $p_j^i(y,x)$ – усилия на поверхности S, определяемые полем $u_j^i(y,x)$. В этом неограниченном пространстве известны напряжения, деформации, перемещения в любой точке. Они определяются полем $u_j^i(y,x)$ [1]. Из этого пространства можно вырезать любой объем, который находится в равновесии, и в котором известны напряжения, деформации, перемещения в каждой точке, а так же внешние силы внутри и на поверхности. В приведенном выше случае вырезается прямоугольная плита (22) и она служит вторым состоянием для задачи (23)-(25) в соотношении Бетти. Из этого соотношения следует решение (38). В (38) известны V,S. Известно также поле $u_j^i(y,x)$ [1], которое определяет и $p_j^i(y,x)$, $x_i\in V$, $y_i\in S$. Неизвестными в (38) являются :

$p_i(y)$ - если заданы на S перемещения (первая краевая задача),
$u_j(y)$ - если на S заданы усилия $p_i(y)$ (вторая краевая задача),
$p_i(y)$ на части поверхности S_u и $u_j(y)$ на части поверхности S_σ (третья краевая задача).

Эти неизвестные граничные условия определяются методом граничных элементов.

Отметим, если в правую часть уравнения (37) подставим граничные условия (34) и (35) и выполним интегрирование, то придем к решению (27).

Список литературы: 1. Дуйшеналиев Т.Б. Неклассические решения механики деформируемого тела. – М.: Издательство МЭИ, 2017. – 400 с.

ПОВЫШЕНИЕ УРОВНЯ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ТОЛСТОЛИСТОВЫХ НИЗКОЛЕГИРОВАННЫХ СТАЛЕЙ ДЛЯ СВАРНЫХ МЕТАЛЛОПРОДУКЦИЙ И СУДОСТРОЕНИЯ

Егоров Н.Т. (*ДонНТУ, г. Донецк*)

Abstract: *The possibility of increasing the level of mechanical properties of thick-plate low-alloy steels 09Г2 and 10Г2С1 by improving the deoxidizing technology and applying heat treatment is considered. The need for the application of quenching and tempering in the production of large sheets of increased strength for welded metal structures and shipbuilding is shown.*

Key words: *Low alloy steel, thick sheet, toughness, deoxidation, aluminum consumption.*

Толстолистовые низколегированные стали широко используются в машиностроении, гражданском и промышленном строительстве при изготовлении различных сварных металлоконструкций, а также в судостроении. В связи с развитием указанных отраслей промышленности к структуре и уровню механических свойств толстолистового проката предъявляются повышенные требования.

Тенденция развития современного листопрокатного производства предусматривает все возрастающее использование при прокатке толстых листов сталей не только мартеновского, но и кислородно-конвертерного производств, в том числе литых слябов, полученных на установках непрерывной разливки стали (УНРС) [1,2].

Изучали возможность повышения уровня механических свойств толстолистовых низколегированных сталей путем совершенствования технологии их раскисления, регламентации температурных режимов прокатки и применения термической обработки.

Исследовали листы толщиной 10-20мм из стали 09Г2 мартеновского производства, полученные из литых и катаных слябов. Расход алюминия на раскисления стали при производстве литых слябов составлял 0,3 и 0,7кг/т, катаных – 1,0кг/т. Прокатку листов из различных слябов осуществляли на одном и том же металлургическом комбинате в полном соответствии с действующей технологией. Листы из стали 10Г2С1 мартеновского и кислородно-конвертерного производства изготавливались из катанных слябов, расход алюминия на раскисление составляет 1,0кг/т. В качестве термической обработки листов применялась нормализация и закалка с высоким отпуском (улучшение). Температура нагрева листов при нормализации и закалке составляла 920-930°С, при отпуске 650-660°С.

В таблице 1 приведены механические свойства горячекатаных листов толщиной 16-20мм из сталей 09Г2 и 10Г2С1 мартеновского и кислородно-конвертерного производств, в зависимости от расхода алюминия при их раскислении.

Анализ представленных результатов показывает, что прочностные ($\sigma_в$, $\sigma_т$) и пластические (δ_5, ψ) характеристики листов толщиной 18-20мм, прокатанных из литых и катаных слябов стали 09Г2 при различных режимах ее раскисления находятся практически на одном уровне. Механические свойства листов из стали 10Г2С1 кислородно-конвертерного производства, также как и плавки мартеновского производства полностью удовлетворяют требования ГОСТ 19282.

При раскислении стали 09Г2 алюминием в количестве 0,3кг/т отдельные плавки листов из литого сляба имеют ударную вязкость при температуре испытания минус 40°С ниже 29Дж/см^2, что не удовлетворяет требованиям существующих стандартов. Аналогичные результаты получены и на листах из катаных слябов (расход алюминия 1,0кг/т). Раскисление стали с расходом алюминия 0,7кг/т приводит к существенному повышению ударной вязкости горячекатаных листов из литых слябов при температуре

минус 40°С и полностью исключает возможную их отсортировку из-за неудовлетворительных значений.

Таблица 1. Механические свойства горячекатаных листов из сталей мартеновского (09Г2) и кислородно-конвертерного (10Г2С1) производств после различных режимов раскисления

Расход алюминия на раскисление, кг/т	Состояние металла	$\sigma_в$	$\sigma_т$	δ_5	ψ	KCU, Дж/см^2 при температуре, °С	
		Н/мм^2		%		-40	-70
Сталь 09Г2, листы толщинй 18-20мм							
0,3	Литой сляб	456-539 492	295-355 318	26-35 30,8	57-71 66,7	7-82 44,5	5-7 6,0
0,7	Литой сляб	485-540 486	286-340 314	27-40 32,5	57-73 66,6	95-112 103,5	16-112 64,0
1,0	Катаный сляб	439-581 495	289-375 331	25-36 30,6	52-68 61,9	10-109 59,5	-
Сталь 10Г2С1, листы толщиной 16-20мм							
1,0	Катанный сляб	529-559 544	338-372 355	23-28 26,5	51-66 58,5	27-40 34,5	13-23 18

Примечание. Числитель – пределы изменений, знаменатель – средние значения по результатам испытаний 20 плавок стали 09Г2 и плавок стали 10Г2С1.

Листы из стали 10Г2С1 кислородно-конвертерного производства характеризуются более высокими значениями ударной вязкости по сравнению со сталью мартеновской выплавки. Частотное распределение ударной вязкости горячекатаных листов толщиной 10-14мм из сталей 09Г2 и 10Г2С1 мартеновского и кислородно-конвертерного производств приведено на рисунке.

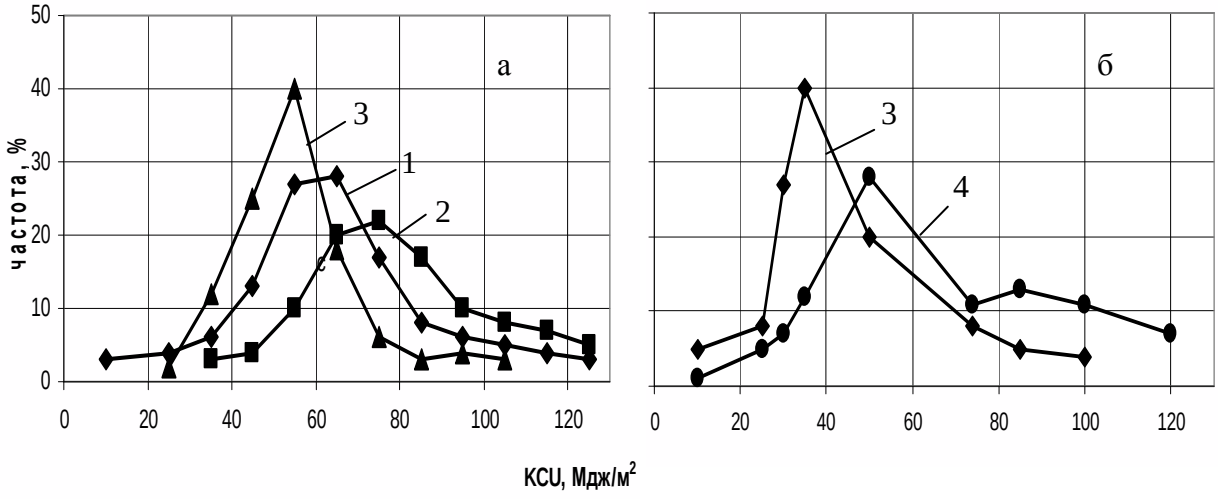


Рис 1. Частотное распределение ударной вязкости горячекатаных листов толщиной 10-14 мм из сталей 09Г2(а) и 10Г2С1(б) мартеновского (1,2,3) и кислородно-конвертерного (4) производств при температуре минус 40°С:
1 – литые слябы (0,3кг); 2 – литые слябы (0,7кг); 3,4 – катаные слябы (1,0кг).
В скобках указан расход алюминия при раскислении на 1т стали.

Аустенитная структура толстолистовой стали 09Г2, раскисленной алюминием в количестве 0,3кг/т, характеризуется повышенной разнозернистостью, величина зерна аустенита изменяется в пределах 4-7 баллов. Раскисление алюминием в количестве 0,7кг/т измельчает аустенитное зерно стали 09Г2 на 2-3 балла и микроструктура горячекатаных листов, даже при довольно высокой температуре конца прокатки (960-980°С), состоит из равноосных зерен феррита и тонкопластинчатого перлита. Участков микроструктуры игольчатого строения, что является следствием распада крупных зерен аустенита, в отличие от раскисления стали с расходом алюминия 0,3кг/т, не наблюдается. Улучшение микроструктуры горячекатаной стали способствует повышению ее хладостойкости.

Снижение температуры конца прокатки с 980 до 880°С приводит к повышению ударной вязкости независимо от расхода алюминия при раскислении стали и сдвигает порог ее хладостойкости на 10-20°С в область более низких температур.

Нормализация повышает уровень ударной вязкости горячекатаных листов и практически не оказывает влияния на их механические свойств при испытании на растяжение. Преимущество раскисления стали алюминием в количестве 0,7кг/т по сравнению с 0,3кг/т наиболее заметно проявляется в значениях ударной вязкости при отрицательных температурах испытания. Так, в частности, минимальное значение ударной вязкости у нормализованных листов толщиной 18-20мм при раскислении стали 09Г2 с расходом алюминия 0,7 кг/т при температуре минус 70°С составляет 67Дж/см2, а при расходе алюминия 0,3кг/т – соответственно 5 Дж/см2 (таблица 2).

Таблица 2 – Влияние термической обработки и расхода алюминия при раскислении стали 09Г2 и 10Г2С1 на механические свойства толстолистового проката

Расход алюминия на раскис-ление, кг/т	Состояние металла	Вид терми-ческой обработки	$\sigma_в$	$\sigma_т$	δ_5	KCU, Дж/см^2 при температуре, °С	
			Н/мм^2		%	-40	-70
Сталь 09Г2, листы толщинй 18-20мм							
0,3	Литой сляб	Нормали-зация	462-538 506	305-387 340	23-38 32,6	53-163 108	5-136 75,5
		Закалка +отпуск	525-580 550	340-496 454	23-29 26,5	111-165 138	63-109 86,0
0,7	Литой сляб	Нормали-зация	469-540 496	307-380 338	32-39 34,8	133-165 149	67-123 95,0
		Закалка +отпуск	560-624 580	393-444 425	26-35 32,4	100-174 137	70-112 91,0
Сталь 10Г2С1, листы толщиной 16-20мм							
1,0	Катаный сляб	Закалка +отпуск	569-589 579	422-442 432	25-27 26	73-97 85	55-86 70,5

Примечания: 1. Сталь 09Г2 мартеновского производства, сталь 10Г2С1 – кислородно-конвертерного производства.

2. Числитель – пределы изменений, знаменатель – средние значения.

Закалка с высоким отпуском повышает прочностные характеристики сталей,

особенно предел текучести, который увеличивается на 20-25% по сравнению с горячекатаным состоянием. Предел прочности сталей при этом возрастает на 35-100Н/мм^2. Ударная вязкость листов толщиной 18-20мм из литых слябов мартеновской стали 09Г2, получаемых на установках непрерывной разливки стали, после закалки и высокого отпуска, независимо от режима раскисления, обеспечивает получение высоких ее значений (86 – 91Дж/см^2) при температурах минус 70°С. Высокие значения ударной вязкости при указанной температуре достигаются и на листах из стали 10Г2С1 кислородно-конвертерного производства.

Таким образом, результаты исследования показывают, что толстые листы стали 09Г2, полученные из литых слябов УНРС по механическим свойствам и ударной вязкости не уступают листам из катаных слябов. Раскисление стали алюминием в количестве 0,3кг/т при производстве горячекатаных листов не всегда обеспечивает необходимую ударную вязкость при температуре минус 40°С и гарантирует ее получение при расходе алюминия 0,7кг/т. Уровень механических свойств листов из кислородно-конвертерной стали 10Г2С1 соответствует требованиям действующих стандартов, а средние значения ударной вязкости при этом выше, чем у стали мартеновского производства.

При производстве толстых листов повышенной прочности ($\sigma_в$, $\sigma_т$ не менее 530 и 390 Н/мм^2) для сварных металлоконструкций ГОСТ 19281 и судостроению ГОСТ 5521 необходимо применять закалку с высоким отпуском.

Современное состояние металлургических технологий, термической обработки и имеющееся оборудование позволяют с уверенностью утверждать, что отечественные металлургические предприятия в настоящее время могут производить крупногабаритные листы повышенной прочности из низколегированных сталей для сварных металлоконструкций и судостроения в соответствии с все возрастающими требованиями к их качеству и полностью удовлетворить существующую в них потребность.

Список литературы: 1. Дюдкин Д.А. Исследование качества проката для судостроения, полученного из непрерывнолитых заготовок / Д.А.Дюдкин, Л.А.Тауб, В.М.Онопченко, В.Г.Осипов // В кн. Теория и практика производства толстолистовой стали. – М.: Металлургия, 1982 – 89-91с. **2.** Гуторова В.Л. Статистическое изучение механических свойств толстолистовой стали, изготовленной из литых и катанных слябов / В.Л. Гуторова, А.Л.Геллер, Н.Г.Бочков и др // В сб. Производство листа. – М.: Металлургия, №2, 1973 – 119-127с.

СОЗДАНИЕ ДЕАЭРАТОРА АТМОСФЕРНОГО ДАВЛЕНИЯ ДЛЯ КРУПНЫХ СИСТЕМ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ

Егоров П.В., Чупраков М.В., Гиммельберг А.С., Шарапова Н.Е., Эрнандес А.Д.
(ОАО «Научно-производственное объединение по исследованию и проектированию энергетического оборудования им. И.И. Ползунова» г. Санкт-Петербург, Россия)
Тел./Факс:8(812)578-88-00; E-mail: deaerator@ckti.ru

Abstract: *The main stages and experience of long-term work of specialists of JSC "NPO CKTI" on the implementation and improvement of designs of atmospheric pressure deaerators using as a coolant "superheated" deaerated water with a temperature of 120÷150 °C are shown.*
Key words: *enlarged deaerator atmospheric pressure," overheated " water, water distribution device, bubbling device.*

1. Введение

Деаэраторы атмосферного давления широко применяются в схемах приготовления воды для систем теплоснабжения и промышленных энергоустановок. Они предназначены для удаления из воды коррозионно-агрессивных газов - кислорода и свободной углекислоты.

В последние годы в отечественной теплоэнергетике наметился устойчивый интерес к деаэраторам атмосферного давления большой производительности. При создании таких деаэраторов в зависимости от схемы и оборудования энергоустановок нашими специалистами было предложено использовать в деаэраторах атмосферного давления в качестве теплоносителя пар или «перегретую» относительно температуры насыщения при давлении в деаэраторе воду.

На основе имеющегося многолетнего опыта, в 2008 г. ОАО «НПО ЦКТИ» был разработан укрупненный деаэратор атмосферного давления производительностью 500 т/ч для применения в системе подпитки теплосети Юго-Западной ТЭЦ в г. Санкт-Петербурге. С учетом условий работы ТЭЦ, было принято решение в качестве греющей среды в деаэраторе использовать не пар, а «перегретую» относительно температуры насыщения при давлении в нем деаэрированную воду с температурой 120÷150 °С. Результаты испытаний и данные эксплуатации показали, что разработанный деаэратор работает устойчиво, надежно и эффективно в проектном диапазоне гидравлических и тепловых нагрузок, обеспечивает глубокое удаление из воды кислорода и свободной углекислоты [1].

Применение в деаэраторах атмосферного давления в качестве теплоносителя перегретой деаэрированной воды с температурой 120÷150 °С при их использовании в схемах теплоснабжения и горячего водоснабжения позволяет обеспечить следующие преимущества деаэрационной установки (по сравнению с вакуумными деаэраторами):

- значительно сокращается состав оборудования, его стоимость и объем монтажных работ;
- существенно упрощается схема и эксплуатация деаэрационной установки;
- повышается надежность, безопасность и эффективность работы установки;
- выполняется обработка воды при температуре более 100 °С (требование СанПиН 2.1.4.2496-09);
- исключается необходимость в применении дополнительной «силикатной» обработки воды.

2. Основное содержание и опыт эксплуатации

С учетом положительного опыта эксплуатации деаэратора атмосферного давления Юго-Западной ТЭЦ, для системы подпитки теплосети ГТУ-ТЭЦ ЭС-1 Центральной ТЭЦ г. Санкт-Петербурга в 2014-2015 гг. ОАО «НПО ЦКТИ» был разработан и изго-

товлен усовершенствованный укрупненный деаэратор атмосферного давления с уменьшенным вертикальным габаритом производительностью 510 т/ч. В деаэраторе используется «перегретая» деаэрированная вода с температурой 130÷150 °С.

В основу создания деаэратора были положены следующие технические решения и требования:

- деаэратор состоит из одной деаэрационной колонки производительностью 510 т/ч, установленной на деаэраторном баке геометрической емкостью ~ 116 м^3;
- в конструкции деаэрационной колонки используются низконапорное водораспределительное устройство (гидравлическая форсунка) и струйные ступени;
- в водяном объеме деаэраторного бака предусматривается современное «затопленное» барботажное устройство;
- в качестве теплоносителя в деаэраторе используется «перегретая» деаэрированная вода с температурой 130÷150 °С.

Устройство деаэратора должно обеспечивать заданные технические характеристики, гидравлические и тепловые нагрузки, возможность осмотра, очистки и ремонта внутренних устройств.

В деаэраторе применена двухступенчатая схема деаэрации: 1-ая ступень-струйно-капельная (в колонке), 2-ая ступень – барботажная (в баке).

Конструкция деаэратора базируется в основном на известных и проверенных в эксплуатации решениях, применяемых также в новых деаэраторов повышенного давления для ТЭС и АЭС [2, 3, 4].

Использование струйной форсунки в верхней части колонки в качестве низконапорного водораспределительного устройства позволяет создать дополнительную развитую поверхность контакта водяной и паровой фаз для интенсификации процессов тепломассообмена и, тем самым, повысить эффективность работы деаэрационной колонки. Применение струйных ступеней в колонке и «затопленного» барботажного устройства в баке позволяет надежно гарантировать необходимые нагрев и деаэрацию воды во всех заданных режимах работы деаэратора.

Принципиальная схема деаэратора атмосферного давления новой конструкции производительностью 510 т/ч приведена на рис.1.

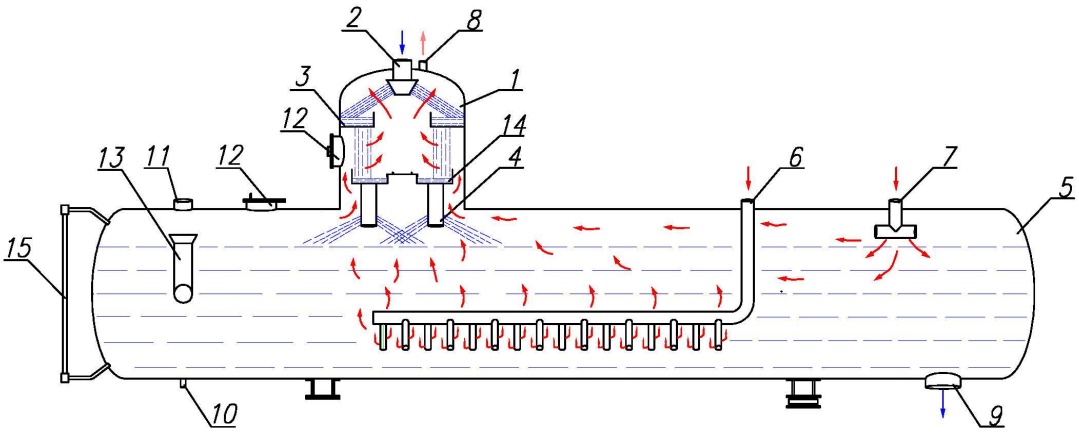


Рис. 1. Деаэратор атмосферного давления новой конструкции производительностью 510 т/ч. 1-колонка деаэрационная; 2-низконапорное водораспределительное устройство; 3-тарелка верхняя перфорированная; 4-трубы сливные; 5-бак деаэраторный; 6-штуцер подвода теплоносителя в барботажное устройство; 7-штуцер подвода теплоносителя; 8-штуцер отвода выпара; 9-штуцер отвода деаэрированной воды; 10-штуцер дренажный; 11-штуцер отвода пара на гидрозатвор; 12-лаз; 13-штуцер перелива; 14-тарелка нижняя, 15-указатель уровня байпасный магнитного типа

Основные проектные и эксплуатационные характеристики деаэратора ДА-510/100 приведены в Таблице 1.

Таблица 1. Основные проектные технические характеристики деаэратора ДА-510/100

Наименование	проектные	эксплуатационные
Производительность деаэратора, номинальная, т/ч	510	510
Давление рабочее абсолютное, МПа (кгс/см^2)	0,12 (1,2)	0,12 (1,2)
Температура рабочая, °С	104,25	104,25
Нагрев воды в деаэраторе при номинальной производительности, °С	10÷20	14,6-17,4
Диапазон изменения производительности, % номинальной	20÷110	20÷95
Температура теплоносителя (греющей воды), °С	130÷150	137,0÷139,6
Содержание растворенного кислорода в деаэрируемой воде на входе в деаэратор, мг/кг, не более	13	1884÷227
Содержание растворенного кислорода в деаэрированной воде на выходе из деаэратора, мкг/кг, не более	20	2,6÷4,6
Содержание свободной углекислоты в деаэрированной воде, мкг/кг	отсутствие	отсутствие
Геометрическая емкость деаэраторного бака, м^3	116	116

В 2017 г. головной деаэратор ДА-510/100 был включен в эксплуатацию. Специалистами эксплуатационных и наладочных организаций (ЗАО «УК ОПЭК» и др.), были проведены совместные режимно-наладочные испытания системы подпитки теплосети ГТУ-ТЭЦ ЭС-1 Центральной ТЭЦ филиала «Невский» ПАО «ТГК-1». В процессе испытаний определялись дегазационные показатели и теплогидравлические характеристики работы деаэратора при изменении его производительности, температуры, расхода теплоносителя на барботажное устройство и в паровой объем, давления и нагрева воды в деаэраторе в соответствии с эксплуатационными условиями на период проведения испытаний. Контроль значений рабочих параметров в процессе испытаний производился штатными средствами измерения. Проверка содержания в деаэрированной воде растворенного кислорода и свободной углекислоты осуществлялась приборами автоматического контроля и химическим (ручным) способом в соответствии с действующими на ГТУ-ТЭЦ ЭС-1 методами.

В качестве исходной (подпиточной) воды в системе теплоснабжения ГТУ-ТЭЦ ЭС-1 используется вода питьевого качества из городского водопровода г. Санкт-Петербурга. По имеющимся данным значения следующих показателей в ней, как правило, находятся в пределах: содержание кислорода – 7÷13 мг/кг, содержание свободной углекислоты – 8÷15 мг/кг, бикарбонатная щелочность – 0,25÷0,5 мг-экв/кг.

Результаты испытаний и данные эксплуатации деаэратора ДА-510/100 ГТУ-ТЭЦ ЭС-1 Центральной ТЭЦ г. Санкт-Петербурга показали следующее:

- новый деаэратор работает устойчиво без заметной вибрации и гидравлических ударов в широком диапазоне нагрузок (10-96%) и эксплуатационных режимов;
- деаэратор удовлетворяет требованиям [5, 6];
- нагрев воды в деаэраторе при максимально полученной производительности 569 т/ч составил 14,6 °С;
- величина содержания растворенного кислорода в деаэрированной воде на выходе из деаэратора при максимально полученной производительности 569 т/ч составила 2,6 мкг/кг при заданной проектной величине 20 мкг/кг.

3. Заключение

1. На основе имеющегося опыта ОАО «НПО ЦКТИ» разработан, изготовлен и поставлен новый деаэратор атмосферного давления ДА-510/100 производительностью 510 т/ч для приготовления подпиточной воды в системе теплоснабжения ГТУ-ТЭЦ ЭС-1 Центральной ТЭЦ г. Санкт-Петербурга. В качестве теплоносителя в деаэраторе используется «перегретая» (относительно температуры насыщения при давлении в деаэраторе) вода.

2. Результаты режимно-наладочных испытаний и данные эксплуатации показали, что деаэратор ДА-510/100 работает устойчиво, надежно и эффективно в проектном диапазоне гидравлических и тепловых нагрузок.

Содержание растворенного кислорода и свободной углекислоты в подпиточной воде после деаэратора удовлетворяет требованиям ГОСТ [5] и ПТЭ [6].

3. Применение нового деаэратора ДА-510/100 в схеме крупной системы теплоснабжения с использованием в качестве теплоносителя греющей («перегретой») воды вместо пара позволяет:

- исключить потери конденсата греющего пара в схеме деаэрационной установки;
- обеспечить работу деаэрационной установки в условиях отсутствия греющего пара при наличии греющей воды необходимых параметров;
- повысить экономичность и надежность установки;
- обеспечить надежную работу системы теплоснабжения в пиковых и аварийных режимах.

4. На основании полученных результатов новый деаэратор ДА-510/100 с использованием в качестве теплоносителя греющей («перегретой») воды рекомендуется для применения в схемах крупных систем теплоснабжения на ТЭЦ и в котельных.

Список литературы: 1. Деаэраторы атмосферного давления для системы теплоснабжения Юго-Западной ТЭЦ / А.С. Гиммельберг, В.Е. Михайлов, В.Г. Михайлов, А.Н. Баева, П.В. Егоров, М.В. Чупраков, Р.И. Костюк, А.В. Чугин, М.С. Цветков// Электрические станции. – 2013. № 12. – с.36. **2.** Деаэратор с малогабаритной деаэрационной колонкой для энергоблоков мощностью 300 МВт / Гиммельберг А.С., Михайлов В.Г., Григорьев Г.В., Хоменок Л.А., Егоров П.В., Шилова Н.Е., Соколов Б.М. // Электрические станции. - 2006. № 4. **3.** Укрупненные термические деаэраторы с горизонтальной колонкой для мощных энергоблоков АЭС / Григорьев Г.В., Гиммельберг А.С., Егоров П.В., Шилова Н.Е., Михайлов В.Г., Баева А.Н. // Теплоэнергетика. – 2008. № 2. **4.** Деаэратор повышенного давления для энергоблока 300 МВт / П.В. Егоров, А.С. Гиммельберг, В.Г. Михайлов, М.В. Чупраков, А.Н. Баева // Электрические станции. – 2016. № 1. – с.39**. 5.** ГОСТ 16860-88. Деаэраторы термические. М., Стандартинформ, 2007. **6.** Правила технической эксплуатации электрических станций и сетей, 2003, М., Омега-Л.

СТРУКТУРА И СВОЙСТВА ПОКРЫТИЙ ИЗ ХРОМИСТОЙ СТАЛИ НАПЛАВЛЕННЫХ ПОРОШКОВОЙ ПРОВОЛОКОЙ ЛЕГИРОВАННОЙ КАРБИДОМ БОРА

Еремин Е.Н., Лосев А.С., Бородихин С.А., Пономарев И.А., Маталасова А.Е.
(ОмГТУ, г. Омск, Россия)
Тел./Факс: +7 (3812) 652579; E-mail: weld_techn@mail.ru

Abstract: *This article deals with the problem of increasing the wear resistance of coatings on parts of a wide range of applications, obtained by surfacing with powdered wires of the Fe - Cr system. It is shown that insignificant wear resistance of such steels under conditions of metal friction against a metal is due to their relatively low hardness and the absence of strengthening phases in them. It is established that the use of high-chromium flux-cored wire alloyed with boron carbide provides for the production of a deposited metal of a composite type, which has alloyed cementite and chromium carboboride as the basis of dispersive hardening. The deposited metal with such a structure has a high wear resistance and a high hardness of 55 ... 58 HRC and can be used for surfacing of strengthening corrosion coatings.*
Key words*: surfacing, coatings, chromium steel, boron carbide structure, hardness, wear resistance.*

Одним из направлений в современном машиностроении является поверхностное упрочнение сравнительно дешёвых сталей, используемых для изготовления деталей машин и механизмов, работающих в сложных условиях эксплуатации. Одним из методов активно развивающихся в настоящее время является наплавка рабочих поверхностей износостойкими порошковыми проволоками.

Широкая номенклатура деталей различных производств, изготавливается из нержавеющих сталей на железо-хромовой основе, сочетающих в себе достаточно высокую прочность и коррозионную стойкость [1].

Основой подавляющего большинства хромистых сталей является система Fe – Cr. Именно на этой основе разработаны порошковые наплавочные проволоки, содержащие 13 – 17% хрома [2-4]. В то же время износостойкость таких сталей в условиях трения металла о металл незначительна. Это объясняется относительно невысокой твёрдостью таких сталей и отсутствием в них упрочняющих фаз. Исходя из этого, перспективным направлением является рапзработка покрытий их хромистой стали с упрочняющими фазами высокой твердости.Одним из направлений улучшения свойств наплавленного металла является дисперсионное упрочнение за счет введение в него боридных соединений [5-10]. Особые перспективы открывает легирование наплавленного металла карбидом бора [7, 8, 11, 12]. Вместе с тем особенности упрочнения хромистой стали наплавленной порошковой проволокой легированной карбидом бора изучены ещё недостаточно.

В связи с этим в работе исследовано влияние карбида бора на структуру и свойства хромистой стали, полученной наплавкой.

В качестве объекта исследования была выбрана хромистая сталь 10Х15, полученная наплавкой порошковой проволокой, в состав шихты которой дополнительно введено 2 % карбида бора. Для сравнения исследовали аналогичную сталь без боридов.

Исследовался металл в состоянии после наплавки опытными порошковыми проволоками диаметром 2,4 мм в аргоне в три слоя.

Эффективность легирования хромистой стали карбидом бора убедительно проявляется при сопоставлении твёрдости наплавленного металла. Результаты распределения твёрдости по высоте наплавленного валика приведены на рисунке 1.

Анализируя полученные данные можно отметить, что твёрдость для сравниваемых составов наплавленного металла практически равномерно распределяется по высоте покрытия, что, по-видимому, обусловлено неизменностью получаемой в нём структуры

вследствие малой доли участия основного металла. Значения твёрдости для металла с бором стабильны и находятся в пределах 55…58 HRC и существенно превосходят твёрдость металла без бора, находящейся в пределах 35…38 HRC.

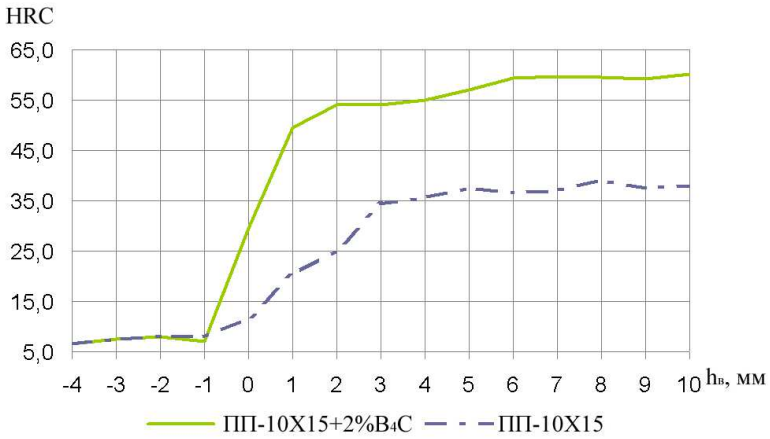


Рис. 1. Зависимость изменения твердости от расстояния от линии сплавления (0) при наплавке проволоками исследуемых составов

Для выявления причин, установленных различий проведены металлографические исследования.

Они показали, что наплавленный металл без бора имеет ферритно-мартенситную структуру. По границам зерен наблюдается значительные выделения δ-феррита. Результаты исследования микротвердости структурных составляющих такого металла, приведённые на рисунке 2 подтверждают наличие ферритно-мартенситной матрицы, δ-феррита и карбидов (табл. 1). Твердость матрицы невысока и составляет 408…429 HV. Твердость δ-феррита ещё меньше 358…376 HV, а карбидов 551…609 HV.

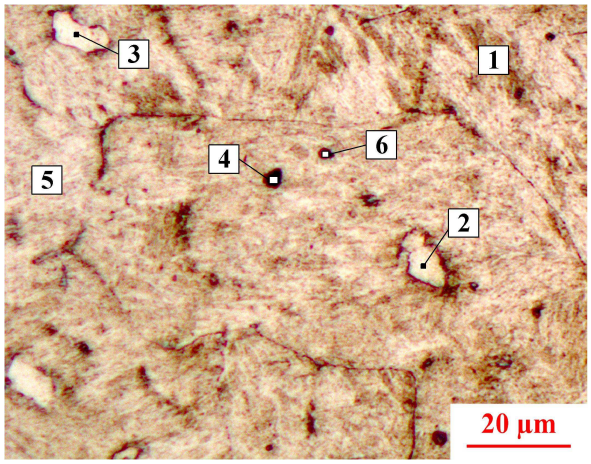


Рис. 2. Микроструктура и области замеров микротвердости структурных составляющих металла, наплавленного порошковой проволокой без бора

Таблица 1. Микротвердость $HV_{0,01}^{*}$ и $HV_{0,05}$ структурных составляющих металла, наплавленного порошковой проволокой без бора

№ укола	1	2*	3*	4*	5	6*
HV	408	376	358	551	429	609

Полученные данные показывают, что основой упрочнения такого металла являются карбиды хрома.

Введение в наплавленный металл карбида бора приводит к образованию композиционной структуры. Она имеет выраженный дендритный характер. По границам дендритных ячеек располагается грубая эвтектика. В мартенсиной матрице наблюдается большое количество выделений упрочняющих фаз.

Результаты исследования микротвердости структурных составляющих такого наплавленного металла (рис. 2) сведены в табл. 2.

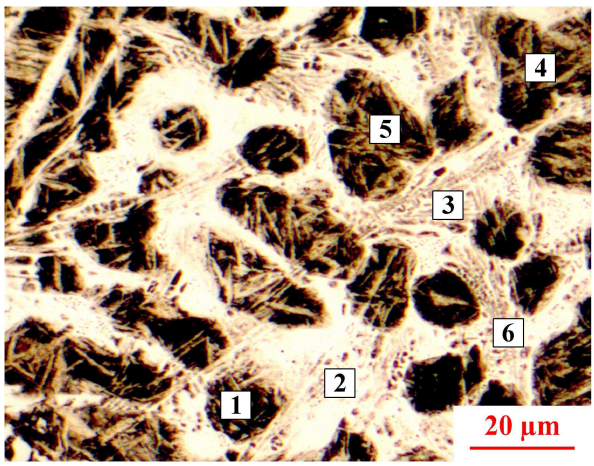


Рис. 2. Микроструктура и области замеров микротвердости структурных составляющих металла, наплавленного порошковой проволокой легированной карбидом бора

Таблица 2. Микротвердость $HV_{0,05}$ структурных составляющих металла, наплавленного порошковой проволокой легированной карбидом бора

№ укола	1	2	3	4	5	6
HV	499	859	924	532	603	891

Установлено, что твердость матрицы находится в пределах 499…603 HV. Наблюдается большое количество эвтектики. Твердость выделившихся упрочняющих фаз значительно повышается и находится в пределах 859…924 HV. Таким образом, микротвердость составляющих такого наплавленного металла значительно превосходит микротвердость составляющих металла без боридов.

Для выявления механизма формирования такой структуры проведены исследования методом растровой электронной микроскопии с выполнением энергодисперсионного анализа структурных составляющих (рис 3). Результаты химического состава областей такого металла приведены в таблице 3.

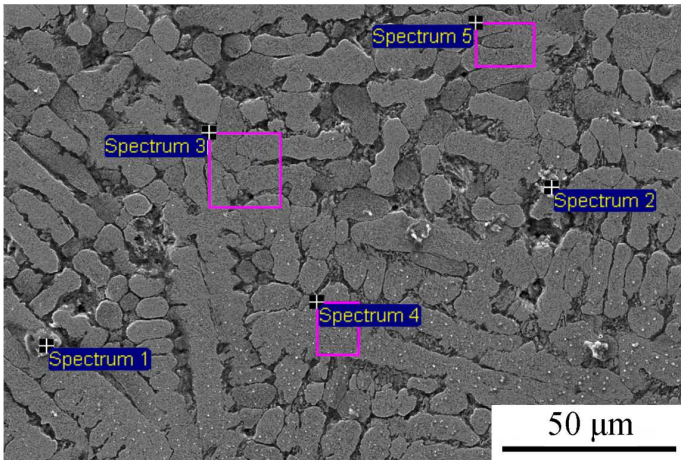


Рис. 3. Структура и области сканирования металла покрытия, наплавленного порошковой проволокой легированной карбидом бора

Таблица 3. Результаты химического состава областей, наплавленного покрытия порошковой проволокой легированной бора

Спектр	C, %	B, %	Cr, %	Fe, %
1	22,70	20,34	8,81	48,15
2	21,92	24,89	7,70	54,51
3	9,16	0	15,50	75,34
4	12,10	5,17	14,39	68,34
5	7,59	0	13,78	78,63

Из результатов исследований следует, что структура такого металла представляет собой железо-хромистую мартенситную матрицу с эвтектической составляющей, образованной на базе легированного цементита $(Fe, Cr)_3C$ и карбоборида $(Fe, Cr)_2B$. Вследствие большого количества дисперсных включений боридная эвтектика характеризуется высокой микротвердостью.

Таким образом, высокохромистая порошковая проволока легированная карбидом бора, обеспечивает получение металла композиционного типа, обладающего высокой износостойкостью и может быть использована для упрочняющей наплавки деталей нефтехимического назначения.

Исследования выполнены при финансовой поддержке гранта РНФ №17-19-01224.

Список литературы: 1. Шлямнев А.П., Свистунова Т.В., Сорокина Н.А. [и др.] Коррозионностойкие, жаростойкие и высокопрочные стали и сплавы: справочник. – М.: «Проммет-сплав», 2008. –336 с. **2.** Наплавочные материалы стран-членов СЭВ. Каталог. – Киев; Москва: ВИНИТИ, 1979. – 619 с. **3.** Степин В.С., Старченко Е.Г., Волобуев Ю.С., Егоров М.Ю. Современные наплавочные материалы для уплотнительных поверхностей арматуры АЭС и ТЭС // Арматуростроение. – 2006. – №2. – С. 55–56. **4.** Юзвенко Ю.А., Кирелюк Г.А. Наплавка порошковой проволокой – М.: Машиностроение. – 1975. – 45 с. **5.** Лякишев Н.П., Плипер Ю.Л., Лаппо С.И. Боросодержащие стали и сплавы. – М.: Металлургия, 1986. – 192 с. **6.** Артемьев А.А., Соколов Г.Н., Дубцов Ю.Н., Лысак В.И. Формирование композиционной структуры износостойкого наплавленного металла с боридным упрочнением // Известия высших учебных заведений. Порошковая металлургия и функциональные покрытия. – 2011. – №2 – С. 44–48. **7.** Eremin E.N. Using boride compounds in flux-cored wires for depositing maraging steel // Welding International, 2013, Vol. 27, № 2. – P. 144–146. **8.** Yeremin Ye.N., Losev A.S. Mechanical properties and thermal stability of a maraging steel with borides, deposited with a flux-cored wire // Welding International. – 2014. – Vol. 28, No. 6. – P. 465–468. **9.** Zhong L., Xiang C., Yan-xiang L., Kai-hua H. High boron iron-based alloy and its modification // J. of Iron and Steel Research, International. 2009. – V. 16, No. 3. – P. 37–42. **10.** Raghavan V. B – Cr – Fe – Ti (Boron – Chromium – Iron – Titanium) // Journal of Phase Equlibria. – 2003. – V. 24, No. 5. – P. 459–460. **11.** Данькин А.А., Светлополянский В.И., Каледа В.Н. Электрошлаковая наплавка карбидов бора и кремния на стальные изделия // Сварочное производство. – 1993. – № 2. – С. 8–10. **12.** Шеенко И.Н., Гапонов О.П. Применение карбоборидных соединений в наплавочных материалах // Сварочное производство. – 1969. – № 5. – С. 27-28.

ПРИМЕНЕНИЕ МОДИФИЦИРОВАНИЯ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА ДЕТАЛЕЙ ЗАПОРНОЙ АРМАТУРЫ

Еремин Е.Н., Миннеханов Г.Н., Миннеханов Р.Г.
(ОмГТУ, ООО «Технологический центр», г. Омск, Россия)
Тел./Факс: +7 (3812) 652579; E-mail: weld_techn@mail.ru

Abstract: *The problem of improving the steel casting quality of pipeline valves made obtained by electroslag casting is considered. An integrated approach to the melt preparation in electroslag casting is proposed, including its deep deoxidation with a rare earth metal agent and introducing a modifying complex containing nanodispersed pyrocarbon particles, which forms a fine ferrite-pearlite structure with small globular nonmetallic inclusions located in the dendrite axes. This technology to produce castings made of wide class of steels with a high cold resistance level.*
Key words*: pipeline accessories, electroslag casting, nanodispersed particles, modification, mechanical properties, cold resistance.*

В нефтехимической и газовой промышленности используется соединительная трубопроводная арматура, работающая в условиях крайнего Севера. Для её изготовления применяется метод электрошлакового литья (ЭШЛ) [1-3]. Однако по некоторым механическим свойствам и служебным характеристикам полученный литой металл не всегда удовлетворяет требованиям и стандартам, предъявляемым к эксплуатируемым изделиям [4, 5]. Одним из трудновыполнимых показателей качества литых заготовок являются ударная вязкость KCU и KCV и величина вязкой составляющей в структуре металла. Это обусловлено столбчатой крупнозернистой структурой литого металла с большой протяженностью первичных осей дендритов, структурной и химической неоднородностью по всему объему получаемой литой заготовки [5].

С целью повышения эксплуатационной надежности электрошлаковых заготовок используют объемное модифицирование литого металла дисперсными инокуляторами [6]. Обычно в качестве инокуляторов используют частицы карбидов, нитридов, карбоборидов титана, вольфрама, ниобия, циркония и др. [6-11]. В тоже время их широкое использование сдерживается дефицитностью и высокой стоимостью таких соединений. Вместе с тем, промышленностью выпускается пироуглерод, который тоже может быть использован в качестве модификатора [12, 13]. Однако применение его в качестве модификатора литого металла не изучено.

В связи с этим исследовали влияние инокулятора в виде частиц пироуглерода на структуру и свойства отливок из низкоуглеродистой стали, полученных электрошлаковой тигельной плавкой металла.

Объектом исследований являлась сталь 20Л. Опытные плавки проводили на установке центробежного электрошлакового литья КТМЭЛ-1 емкостью 250 кг и мощностью 250 кВт/час. В качестве исходного сырья использовали расходуемые электроды, сваренные из кусков проката в штангу. После накопления достаточного объема металла по серийной технологии в расплав вводили ферромарганец, ферросилиций, науглероживатель для получения требуемого химического состава и алюминий для раскисления. Окончательное раскисление по опытной технологии выполняли специальной добавкой, содержащей редкоземельные металлы (РЗМ).

Ввод модифицирующего комплекса содержащего пироуглерод для опытных плавок осуществляли в контейнере из стальной трубы, приваренной на штангу. После усвоения добавки расплав выпускался в форму, установленную на центробежную машину с вертикальной осью вращения. Для изучения механических, служебных свойств и структуры отливок вырезали кольца.

Анализ результатов испытаний образцов, из металла полученного по серийной технологии показал относительно невысокий уровень ударной вязкости при – 60 ºС и вязкой составляющей в изломе после испытаний с V-образным надрезом (табл. 1).

Таблица 1. Механические свойства отливок из стали 20, полученных по серийной технологии

№ плавки	$\sigma_в$, МПа	$\sigma_т$, МПа	δ, %	ψ, %	Ударная вязкость при t=-60 ºС, Дж/см^2		Вязкая составляющая излома	
					KCU	KCV	KCU,%	KCV, %
4014	545	407	30	54	109	28	43	17
4022	524	384	28	58	121	42	55	33

Характерные особенности излома – большое количество мелких острых элементов, форма которых обусловлена кристаллическим (дендритным) строением металла. В структуре металла наблюдаются дендриты с ветвями второго порядка, расположенные параллельно поверхности, что указывает на неориентированный по нормали рост кристаллов при затвердевании поверхностного слоя отливки.

Содержание феррита, по мере удаления от наружной поверхности отливки, резко снижается, в то время как концентрация углерода повышается, что отражается в увеличении количества перлитной составляющей в структуре. За обогащенным находится обедненный углеродом слой (середина стенки), наличие которого связано с ликвацией углерода. Балл зерна на поверхности составляет 8–9, а в центральной части стенки отливки 5–6. Зерна феррита частично имеют видманштетовое строение. Такая явно выраженная дифференциация структуры металла по сечению объясняется разными теплофизическими условиями их затвердевания и образованием структурных зон в отливке.

Фрактографические исследования показали загрязненность неметаллическими включениями (НМВ) сульфидной природы исследуемого поверхностного слоя излома. Принято считать, что располагаясь по границам зерен, сульфидная эвтектика ослабляет междендритные связи, в результате чего в местах ее залегания образуются микропоры, снижающие ударную вязкость [14]. Кроме грубой сульфидной эвтектики, образующейся по границам дендритных кристаллов, в металле наблюдается значительное количество отдельных сульфидов, оксисульфидов и оксидов, расположенных в металлической матрице. Степень влияния НМВ на хрупкость стали зависит от их формы, количества и размера. Считается, что легкие, изолированные НМВ оказывают незначительное влияние на процессы разрушения стали, а наиболее опасными считаются вытянутые включения или пленки [15].

В серийной отливке обнаружены преимущественно оксисульфидные включения неправильной формы, способствующие охрупчиванию металла.

Пластичность стали характеризуется общей площадью соприкосновения между кристаллами, образующими каркас. Ее повышению способствует мелкодисперсная разветвленная дендритная структура и рассредоточенные по объему неметаллические включения [16]. Обеспечить такую структуру отливки можно за счет использования специальных технологических методов подготовки расплава при литье, способствующих интенсификации зародышеобразования в расплаве в начальный момент затвердевания отливки.

Ввод в расплав модифицирующего комплекса позволил изменить процесс формирования избыточных фаз и неметаллических включений, что обеспечил получение отливок с повышенной ударной вязкостью при незначительном изменении прочностных свойств (табл. 2).

Таблица 2. Механические свойства отливок из модифицированной стали 20

№ плавки	$\sigma_в$, МПа	$\sigma_т$, МПа	δ, %	ψ, %	Ударная вязкость при t=-60 ºС, Дж/см^2		Вязкая составляющая излома	
					KCU	KCV	KCU,%	KCV, %
4020	540	375	31	70	195	145	85	60
4021	520	366	31	72	177	104	82	65
4013	508	355	25	74	163	103	85	69

Сравнительный анализ, полученных данных показал, что модифицирование стали 20 при ЭШЛ обеспечивает повышение ударной вязкости KCU до 160–190 Дж/см^2 и KCV до 100–140 Дж/см^2. При этом происходит незначительное снижение предела прочности и предела текучести при сохранении уровня значений относительного удлинения и относительного сужения. Для отливок из модифицированной стали характерно стабилизация количества вязкой составляющей излома для испытаний KCU на уровне свыше 80 % и для испытаний с острым надрезом на уровне свыше 60 %.

Макроструктура такого металла отличается высокой плотностью и однородностью и состоит, как правило, из равноосных кристаллов. Неметаллические включения распределены по сечению отливки равномерно. Они имеют размеры, в основном, не более 2–3 мкм и глобулярную форму. По составу они обычно представляют собой шпинели сложного состава. Шлаковые и другие экзогенные включения не обнаружены, что подчеркивает минимальную загрязненность такого металла.

При анализе микроструктуры образцов установлено, что модифицирование ультрадисперсными порошками позволяет формировать во всем объеме структуры отливки мелкодисперсную ферритно-перлитную смесь, зерно которой соответствует 7–8-му баллу шкалы ГОСТа, с мелкими глобулярными карбидными включениями, расположенными в осях дендритов (рис. 1).

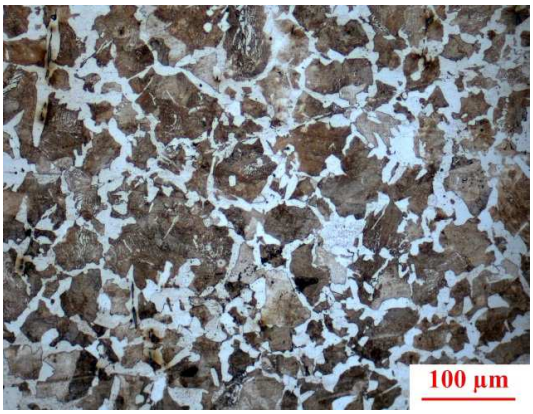


Рис. 1. Микроструктура модифицированной стали

Большую роль в увеличении энергии, затраченной на разрушение при ударе, играют морфология и топография карбидной фазы. Образование большого количества компактных карбидов в металле опытных плавок можно объяснить увеличением степени переохлаждения расплава при введении в него модификатора, дисперсные частицы которого, являясь центрами кристаллизации, увеличивают скорость охлаждения металла. Увеличение количества карбидов в металле в результате модифицирования сопровождается увеличением равномерности распределения дислокаций в деформируемом объеме [17]. Модифицирование способствует размножению и

перемещению дислокаций и стимуляции фазовых превращений, повышает величину сил межатомных связей и прочность сцепления карбидов с матрицей [18].

Проведенный микроанализ показал, что в модифицированном металле, в сравнении с немодифицированным, легирующие элементы распределены намного равномернее, а величина дендритной ликвации существенно снижается. Благодаря связыванию легирующих элементов, взаимодействующих с углеродом, повышается химическая стабильность матрицы и оказывается благоприятное воздействие на механические свойства получаемых отливок.

Разработанная технология может быть использована для изготовления заготовок деталей запорной арматуры, фланцев, переходов, тройников и других деталей, предназначенных для работы в условиях Крайнего Севера.

Работа выполнена за счет гранта Российского фонда фундаментальных исследований (проект №16-48-550523).

Список литературы: 1. Патон Б.Е., Медовар Б.И., Бойко Г.А. Электрошлаковое литье. – Киев: Наукова думка, 1980. – 192 с. **2.** Патон Б.Е., Медовар Б.И. Электрошлаковая тигельная плавка и разливка металла. – Киев: Наукова думка, 1988. – 214 с. **3.** Еремин Е.Н., Жеребцов С.Н. Электрошлаковая ресурсосберегающая технология производства фланцевых заготовок // Литейное производство. – 2003. – № 6. – С. 21-22. **4.** Медовар Б.И., Цыкуленко А.В., Шевцов В.Л. [и др.] Металлургия электрошлакового переплава. – Киев: Наукова думка, 1986. – 248 с. **5.** Патон Б.Е., Медовар Б.И. Электрошлаковый металл. – Киев: Наукова думка, 1981. – 677 с. **6.** Сабуров В.П., Еремин Е.Н., Черепанов А.Н. Модифицирование сталей и сплавов дисперсными инокуляторами: моногр. – Омск: Изд-во ОмГТУ, 2002. – 211 с. **7.** Хрычиков В.Е., Калинин В.Т., Кривошеев В.А. Ультрадисперсные модификаторы для повышения качества отливок // Литейное производство. – 2007. – № 7. – С. 2-5. **8.** Полубояров В.А. Коротаева З.А., Черепанов А. Н. [и др.] Применение механически активированных ультрадисперсных керамических порошков для улучшения свойств металлов и сплавов // Наука производству. – 2002. – № 2. – С. 2-8. **9.** Предтеченский М. Р., Черепанов А.Н., Тухто О.М. [и др.] Плазмохимический синтез нанопорошков тугоплавких соединений и их применение для модифицирования конструкционных сталей и сплавов // Литейщик России. – 2010. – № 3. – С. 28-29. **10.** Артемьев А.А., Соколов Г.Н., Лысак В.И. Влияние микрочастиц диборида титана и наночастиц карбонитрида титана на структуру и свойства наплавленного металла // Металловедение и термическая обработка материалов. 2011. – № 12 (678). – С. 32-37. **11**. Соколов Г.Н., Лысак В.И., Трошков А.С. [и др.]. Модифицирование структуры наплавленного металла нанодисперсными карбидами вольфрама // Физика и химия обработки материалов. 2009. – № 6. – С. 41-27. **12.** Александров В.М., Кулаков Б.А. Пироуглерод в литейном производстве // Литейное производство 1993. – № 1. – С. 17-18. **13.** Комшуков В.П., Фоигт Д.Б., Черепанов А.П. [и др.]. Модифицирование непрерывнолитой стали тугоплавкими соединениями // Сталь. 2009. – № 4. – С. 65-68. **14.** Зайцев А.И., Крапошин В.С., Родионова И.Г. [и др.] Комплексные неметаллические включения и свойства стали. – М.: Металлургиздат, 2015. – 276 с. **15.** Штремель М.А. Разрушение: моногр. В 2 кн. – М.: Издат. дом МИСиС, 2014. – Кн. 1. – 669 с. **16.** Kumar A.S., Kumar B.R., Datta G.L. [et al.] Effect of microstructure and grain size on the fracture toughness of a micro-alloyed steel // Materials Science Engineering. – A. 2010. – Vol. 527, Issue 4-5. – P. 954-960. **17.** Горынин В.И., Кондратьев С.Ю., Оленин М.И. Повышение сопротивляемости хрупкому разрушению перлитных и мартенситных сталей при термическом воздействии на морфологию карбидной фазы // Металловедение и термическая обработка металлов. – 2013. – № 10. – С. 22-29. **18.** Новиков В.Ю. Аномальный рост зерна: влияние дисперсных частиц // Металловедение и термическая обработка металлов. – 2018. – № 3. – С. 3-9.

МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ХАРАКТЕРА РАЗРУШЕНИЯ ПО ДАННЫМ ФОТОМЕТРИЧЕСКОГО АНАЛИЗА СТРУКТУРНЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ

Ермишкин В.А., Соловьева Ю.Б.
(ИМЕТ РАН, Россия, Москва, Тел./факс:+7(903)2147479, +7(499)1358680, minina1951@rambler.ru)

Abstract: *An alternative to the fracture mechanics approaches to the study of fracture at the micro structural level is the development of photometric analysis of structural images based on a joint analysis of the results of mechanical tests from synchronous video recordings of observations of the structural evolution of the material on the sample surface. This combination of two sources of information, describing two interrelated aspects of a single process, expands the possibilities of studying the problem of the destruction of structural materials and deepens them to research at the level of elementary mechanisms of material damage at a microscopic scale.*

Key words: *photometric analysis of structural images, fracture mechanics approaches, stress intensity factor, spectra of the brightness of visible light reflection.*

Методы механики разрушения (МР) получили широкое распространение для оценки склонности металлов и сплавов к хрупкому разрушению и прогнозирования остаточного ресурса элементов конструкций, имеющих макроскопические размеры, когда правомерно применять подходы механики разрушения. Учет структурных факторов в явлениях разрушения в рамках МР возможен только на качественном уровне. Альтернативой подходам механики разрушения при изучении разрушения на микроструктурном уровне, является развитие фотометрического анализа структурных изображений (ФАСИ) [1], основанного на совместном анализе результатов механических испытаний с синхронной видеозаписью наблюдений за структурной эволюцией материала на поверхности образца. Такое совмещение двух источников информации, описывающих два взаимосвязанных аспекта единого процесса, расширяет возможности изучения проблемы разрушения конструкционных материалов и углубляет их до исследования на уровне элементарных механизмов повреждаемости материалов в микроскопическом масштабе. Совмещение макроскопического и микроскопического подход при изучении разрушения материалов важно, чтобы геометрия и размеры образцов удовлетворяли требованиям механики разрушения и были совместимы с записью наблюдений за областью окружающей очаг разрушения. При этом критерии разрушения при достижении трещиной макроскопического размера при микроскопическом описании должны быть согласованы с известными критериями МР.

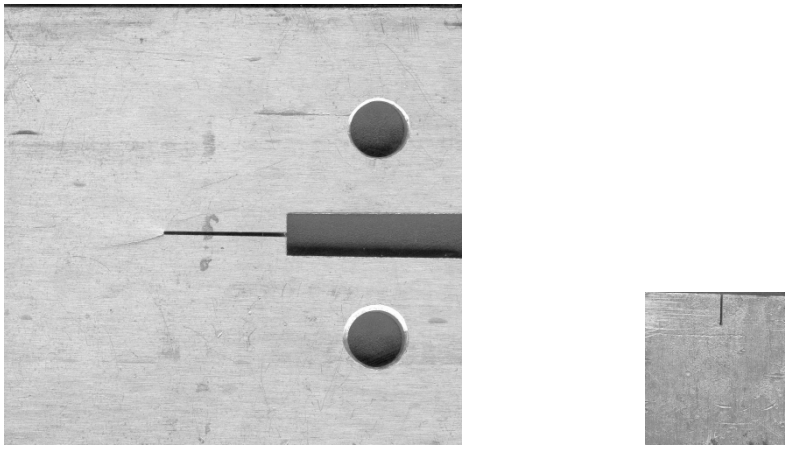
Материал и методика исследования

Для экспериментального изучения разрушения при согласованном макро и микроскопическом описании его закономерностей в качестве материала исследования был выбран известный высокопрочный алюминиевый сплав В95. Из холодно катанных листов этого сплава толщиной 6 мм, были изготовлены образцы двух типов. Их внешний вид и размеры в натуральную величину показаны на рис. 1.

Образец 1-а предназначен для определения коэффициента интенсивности напряжений (КИН) в условиях внецентренного растяжения. Расчетная формула (1) [2] для его определения получена численным методом и обеспечивает точность оценки КИН ± 0,5%.

Формула записывается в виде:

$$K_I = \frac{P}{cW^{0,5}} \cdot f(\alpha), \qquad (1)$$



а) б)

Рис.1. Образцы для изучения разрушения, масштаб 1:1: а) - для внецентренного растяжения; б) - для внедрения клина

где: *P* - максимальная нагрузка на упругом участке диаграммы растяжения, t - толщина образца, *W* - базовое расстояние образца, *f(α)* - коэффициент, определяемый по формуле:

$$f(\alpha)=(2+\alpha)\cdot(0{,}8072+8{,}858\alpha-30{,}23\alpha^2+41{,}088\alpha^3-24{,}15\alpha^4+4{,}951\alpha^5)\cdot(1-\alpha)^{-3/2} \quad (2)$$

$\alpha = a/W$, *a* - длина трещины от ее вершины до оси приложения нагрузки, *W* - расстояние от оси приложения нагрузки до края образца, *t* - толщина образца. Для образца 1-б использовалось нагружение внедрением клина в надрез. Ранее такая схема нагружения уже использовалась для оценки поверхностной энергии плоскостей скола в монокристаллических образцах [3, 4]. Нет принципиальных различий между схемами нагружения образцов обеих типов. Применительно к образцу 1-б сила P запишется в виде: $P = F/2\cdot ctg(\alpha/2)$, где: α - угол раскрытия клина, *F* - значение нагрузки в момент окончания упругой деформации. Соответственно для других членов формулы (1) можно записать: $a = l - \Delta l\cdot(1 - 0{,}5/\cos(\alpha/2))$, $W = h - \Delta l\cdot 0{,}5/\cos(\alpha/2)$ где: *l* - длина трещины- надреза, Δl - глубина внедрения клина в надрез, *h* - высота образца. В случае определения КИН по данным ФАСИ напряжения у вершины трещины-надреза находили по формуле для изгиба балки в сопротивлении материалов [5]:

$$\sigma = \frac{M}{W}, \quad (3)$$

где: *M* - изгибающий момент, *W* - в этой формуле так обозначен момент сопротивления сечения: $W = (h - l)^2 t/6$, $a\ M = (F/2)(h - a)$. Для оценки КИН по данным ФАСИ использовались измерения яркости отражения видимого света от образца до нагружения и после нагружения в разные моменты нагружения в пределах упругой области. ФАСИ [6], разработанный в ИМЕТ РАН, представляет собой программно-аналитический комплекс, основанный на компьютерном анализе по дифференциальной схеме сравнения спектров яркости отражения и структур фрагментов поверхности эталонного и исследуемого образцов с выводом результатов анализа в наглядной графической форме, в виде таблиц и графиков. Согласно теоретическим представления работы [7] энергия излучения тела φ с внутренней энергией U может быть записана в виде формулы:

$$\varphi = A\cdot U, \quad (4)$$

где *A* - константа, зависящая от вероятности спонтанного излучения тела, обладающего определенным запасом внутренней энергии. В формуле (4) значения энергии выражаются в физических размерных единицах. В ФАСИ площадь под спектральной кривой яркости

излучения имеет смысл энергии излучения в делениях безразмерной линейной шкалы изменяющейся от нуля, соответствующего полному поглощению падающего видимого света, до единицы - полному его отражению от исследуемой поверхности. С учетом этих обстоятельств внутреннюю энергию тела можно выразить из формулы (4) через значения энергии излучения в условных единицах и из закона сохранения энергии следует формула для оценки напряжений по измерениям ФАСИ в виде:

$$\sigma = \sqrt{2AE(\varphi_2 - \varphi_1)} \quad (5)$$

где: $A = C_p\Delta T$, E - модуль упругости, φ_2, φ_1 - энергии излучения образца под нагрузкой и без нее.

Обсуждение полученных результатов

Эксперименты по нагружению образцов проводились на испытательной машина типа «Инстрон-3382» со скоростью 1 мм/мин. Синхронно с записью диаграммы нагружения записывались соответствующие структурные изменения на поверхности образцов. На рис. 2 показана кривая деформирования одно из испытанных образцов в координатах «нагрузка P - стрела прогиба - f». Из видеозаписи с определенной периодичностью были выбраны кадры, соответствующие определенным моментам времени. На рис. 3 показаны: структура поверхности и спектры яркости отражения видимого света от него до испытания и в момент времени t = 70 с. Можно заметить, что в результате нагружения даже в упругой области структура претерпевает изменения как в количественном - изменяются доли цветовой окраски изображения, так и в качественнлм отношении - меняется распределение на плоскости окрашенных зон. ФАСИ позволяет ввести количественную меру необратимости структуры материала, а значит и его структурно-чувствительных характеристик. Это возможно, так как в

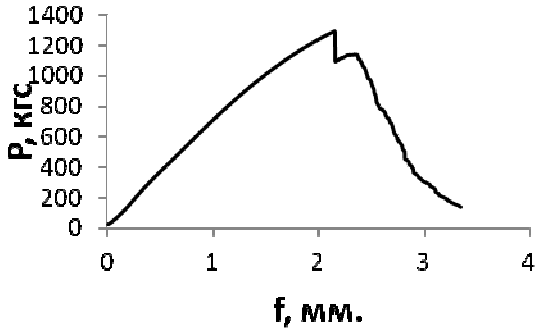
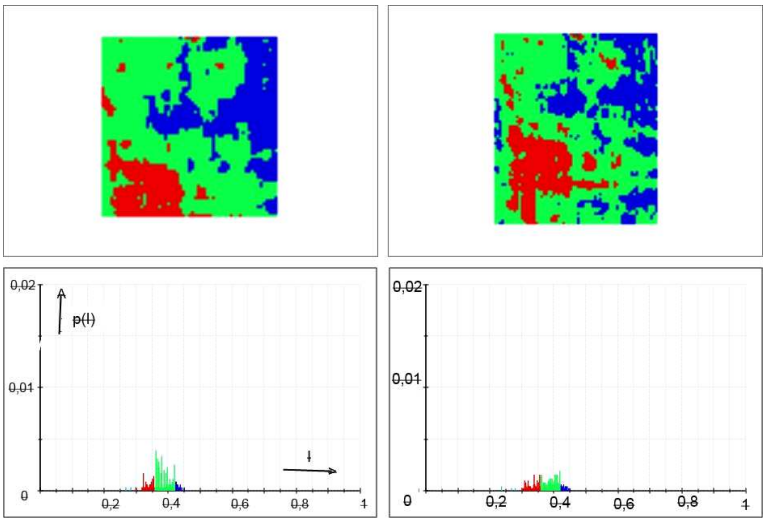


Рис. 2. Типичная кривая растяжения образца из сплава В95 в исходном состоянии

ФАСИ предусмотрена численная оценка долей плоскости изображения, окрашенных в различные цвета. Определив из формулы (5) напряжения, действующие в микрофрагментах, расположенных в направлении надреза на разном удалении от его вершины получили оценки для КИН, по которым из формулы (6) была рассчитана зависимость $K_I = f(r)$ при $\theta = 0$, представленная на рис. 4 а. Формула (6) описывает значения компоненты тензора, в функции значений радиусов-векторов и азимутальных углов. Для разрушения, которое развивается по моде нормального отрыва, она записывается [8] как:

$$\sigma_{yy} = \frac{K_I}{\sqrt{2\pi r}} \cdot \cos\frac{\theta}{2} \cdot \left(1 + \sin\frac{\theta}{2} \cdot \sin\frac{3\theta}{2}\right) \quad (6)$$

где: r - радиус-вектор, проведенный из точки, расположенной в начале координат, совпадающих с вершиной трещины-надреза в точку, в которой определяются напряжения, θ - азимутальный угол радиуса-вектора.



а) б)

Рис. 3. Эволюция структуры сплава В95 у вершины трещины-надреза за 70 с. нагружения в упругой области: а) - изображение фрагмента поверхности и спектра яркости отражения при t=0 с; б) - тоже, но при t=70 с

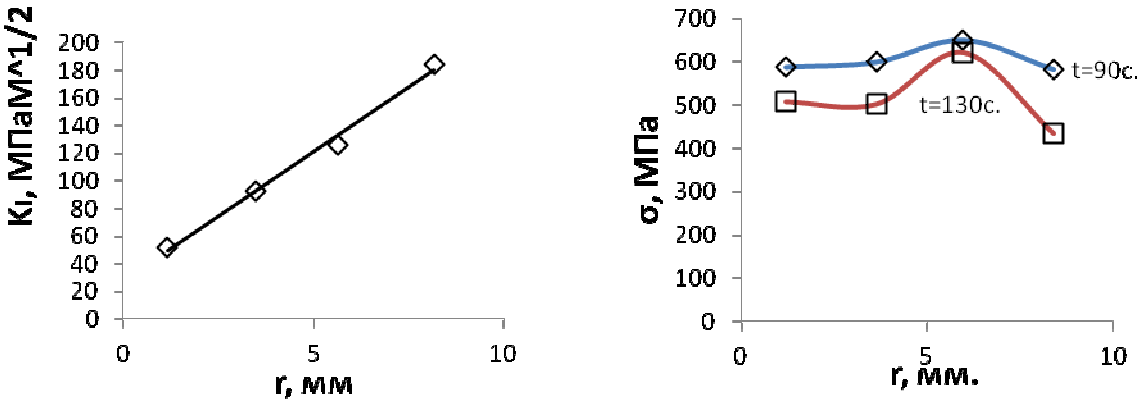
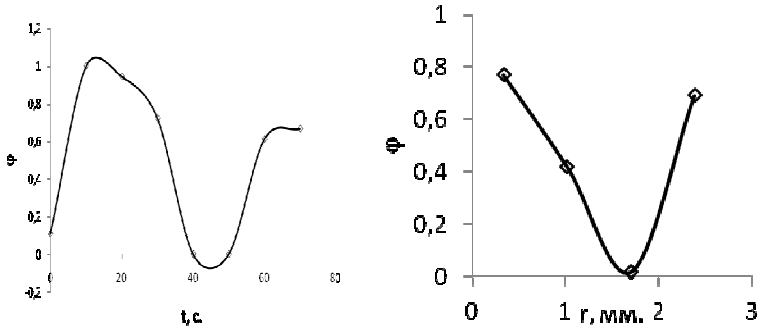


Рис. 4. Зависимость от величины радиуса-вектора, построенная по данным ФАСИ: а) – КИН; б) - распределение напряжения $\sigma_{xx} = f(r)$ в образце 1-а

Определение КИН на образце типа 1-а по методу МР и по данным ФАСИ показали близкие результаты: КИН (МР) = 49,12 и КИН (ФАСИ) = 51,32 МПа$М^{0,5}$, что свидетельствует о сходстве условий, в которых развиваются трещины в обоих образцах в условиях близких к плоской деформации. Это подтверждается и характером зависимости $\sigma_{xx} = f(r)$ максимум на которой достигается не в начале координат, как при плоском напряженном состоянии, а на некотором удалении от него, как при плоской деформации (рис. 4 б). Из-за пластической деформации клина, внедряемого в надрез, когда образцы типа 1-б начали испытывать в упрочненном методом КМО состоянии , пришлось ограничить максимальную нагрузку 600 кг. При такой нагрузке трещина-надрез практически оставалась постоянной, а это означает, что нарушается геометрия образца у вершины трещины-надреза. По этой причине была откорректирована процедура определения КИН. Для этого было нужно выполнить два условия: 1) определить момент, когда трещина перестает расти из-за деформационного упрочнения перед фронтом трещины; 2) для момента остановки трещины нужно оценить ее прирост с начала нагружения. Для того, чтобы удовлетворить этим требования, была

построена по данным ФАСИ зависимость энергии излучения φ от времени. Максимум на этой зависимости был принят за момент остановки трещины из-за развития пластической зоны перед ней. Эта зависимость представлена на рис. 5 а. Время остановки трещины с начала нагружения оказалось равным 12,4 с. Величину прироста трещины на момент ее остановки нашли из зависимости энергии излучения φ от расстояния до вершины надреза (рис. 5 б). Прирост трещины оказался равным 1,72 мм. Такой прирост мог остаться незамеченным при эллипсовидной форме фронта трещины. Найденные значения КИН по методу МР и ФАСИ существенно не различаются: КИН(МР) = 18,95 и КИН(ФАСИ) = 40,37 МПа$М^{0,5}$, Ввиду чего, следует признать расхождение между значениями КИН(МР) следствием методических ошибок при определении значений Р по кривой нагружения.



а) б)

Рис. 5. Зависимость энергии излучения φ: а) - от времени; б) - от длины радиуса-вектора *r*

Выводы:

1. Разработан метод определения КИН по данным ФАСИ, который дает результаты, хорошо согласующиеся со значениями КИН, полученными по методу механике разрушения.
2. Разработан и экспериментально проверен неразрушающий метод оценки КИН по данным ФАСИ малогабаритных образцов, нагруженных в упругой области.

Работа выполнена по государственному заданию №007-00129-18-00 и при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант № 17-08-00098а).

Список литературы: 1. Ермишкин В.А., Мурат Д.П., Подбельский В.В. Информационные технологии фотометрического анализа усталостной повреждаемости материалов. Информационные технологии. 2007. №11, С. 65-70. **2.** Справочник по коэффициентам интенсивности напряжений. п/р Ю. Мураками, М.: Мир, 1990, 448 с. **3.** Механизмы разрушения. М.:Гос. Из-во по черной и цветной металлургии, 1963, С. 220-253. **4.** Мейнер К. Физико-химическая кристаллография. М.:Металлургия, 1972, 479 с. **5.** Феодосьев В.И. Сопротивление материалов. М.:Из-во МГТУ им. Н.Э.Баумана. 1999. 589 с. **6.** Ермишкин В.А., Мурат Д.П., Подбельский В.В. Система фотометрического анализа структурных изображений и ее применение для исследования материалов в условиях усталости. Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. 2008. №10, С. 38-44. **7.** Астапенко В.А Взаимодействие излучения с атомами и наночастицами. Долгопрудный:Из-во Интеллект. 2010. 492 с. **8.** Черепанов Г.П. Механика хрупкого разрушения. М.:Наука, 1974, 640 с.

ВЛИЯНИЕ ТИТАНОВОГО ПОКРЫТИЯ НА СОПРОТИВЛЕНИЕ РАЗРУШЕНИЮ СПЛАВА В 95

Ермишкин В.А., Соловьева Ю.Б., Минина Н.А., Кулагин С.П., Томенко А.К.
(ИМЕТ РАН, Россия, Москва, Тел./Факс: +7(903)2147479, +7(499)1358680; minina1951@rambler.ru)

Abstract: *The purpose of this work is the experimental verification by the method of photometric analysis of structural images of the effect of a coating of titanium on the crack resistance of B95 alloy, previously hardened by cryomechanical treatment. The titanium coating applied to the surface hardened by cryomechanical treatment of B95 alloy is an effective protector against structural damage in the entire range of operating stresses, excluding the 750 to 1299 MPa range.*

Key words: *method of photometric analysis of structural images, crack resistance, cryomechanical treatment, stress intensity factor, structural damage.*

Трещиностойкость металлов и сплавов является фактором, ограничивающим возможности упрочняющих технологий, так как условия зарождения и роста трещин существенно облегчаются при деформационном упрочнении материалов [1]. Нанесение покрытия на поверхность материала, упрочненного при низкотемпературной деформации по технологии криомеханической обработке (КМО), может стать средством, препятствующим зарождению поверхностных трещин и повышающим коэффициент интенсивности напряжения (КИН) поверхностных слоев материала. Выбор материала покрытия при этом определяется микромеханизмом дисперсионного упрочнения, которое происходит на границе раздела материал - покрытие в результате развития диффузионных процессов при температурах ниже температуры начала возврата. В случае покрытия из титана таким механизмом является выпадение выделений интерметаллидных фаз Ti-Al и, прежде всего, $TiAl_3$. Скорости диффузии из-за низких температур старения интенсифицируются благодаря высокой концентрацией вакансий и плотностей дислокаций в материалах, упрочненных при КМО. Эффект влияния барьерных покрытий может быть эффективным средством предупреждения хрупкого разрушения. Целью настоящей работы является экспериментальная проверка влияния покрытия из титана на трещиностойкость сплава В95, предварительно упрочненного КМО.

Материал и методики исследования

В качестве материала исследования был использован высокопрочный алюминиевый сплав В95 в холоднодеформированном и закаленном состояниях. Химический состав сплава согласно паспортным данным приведен в таблице №1 [2].

Таблица 1 - Химический состав сплава В95

Zn	Mg	Cu	Mn	Cr	Al	Fe	Si	прочие	
								каждая	Σ
						не более			
5,0-7,0	1,8-2,8	1,4-2,0	0,2-0,6	0,1-0,25	основа	0,5	0,5	0,05	0,1

Из листа толщиной 6 мм были вырезаны образцы с размерами 20×20×6 мм, на которые по вертикальной оси симметрии с помощью электроискровой резки были

нанесены надрезы шириной 0,4 мм и длиной 4 мм. У начала надреза снимались фаски с катетом 9,2 мм. Образцы нагружались внедрением клина в надрез со скоростью 1 мм/мин. Нагружение образцов проводилось в испытательной машине Инстрон-3382 путем внедрения стального клина в надрез, выполненный с помощью электроискровой резки. Ширина надреза 0,4 мм, длина 4 мм. На рис. 1 показан рабочий момент нагружения образца внедрением клина.

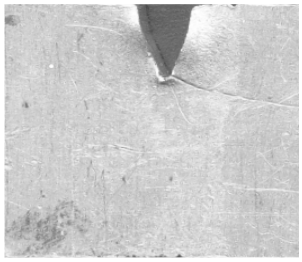


Рис. 1. Образец под нагрузкой

Образцы, на которых проводили исследования в настоящей работе, были обработаны по технологии КМО, включавшей в себя: закалку в воду после отжига образцов при Т = 450^{o}С в течение 30 мин в вакуумированной ампуле (разряжение составило $1 \cdot 10^{-3}$ торр.); низкотемпературной осадке области, примыкающей к вершине трещины-надреза, с помощью пуансона Ø = 11 мм, на 0,3 мм при температуре кипения жидкого азота (- 196^{o}С) и старения при Т = 45^{o}С в течение 30 мин. После КМО на рабочую поверхность образцов был нанесен титан методом вакуумного распыления титановой стружки в универсальном вакуумном посту. Замыкало подготовку образца к эксперименту нанесение надреза. В течение всего цикла нагружения образца состояние его рабочей поверхности со стороны покрытия непрерывно записывалось на видеокамеру. Покадровый анализ видеозаписи с заданной периодичностью осуществлялся методом фотометрического анализа структурных изображений (ФАСИ) [3]. ФАСИ представляет собой программно–аналитический комплекс, в котором осуществляется сравнение по дифференциальной схеме одного и того же фрагмента исследуемой поверхности в два разных момента времени: первоначальный до начала нагружения и последующий для выбранного момента времени после его начала. Наряду с исследованием состояния поверхности регистрируются спектры яркости отражения видимого света от исследуемого фрагмента. Пример такого анализа приведен на рис. 2. Из сравнения фрагментов можно заметить, что деформирование образца сопровождается дроблением покрытия и уменьшением поверхностной доли, которую оно занимает. В ФАСИ предусмотрено окрашивание выделенных интервалов спектра в контрастные цвета и перенесение этих цветов на изображения фрагмента, что позволяет визуализировать локальные области, дающие вклад в отражения в выделенных интервалах. Спектр яркости отражения строится в координатах «спектральная плотность отражения при заданной интенсивности – отражения p(I) – интенсивность отражения – I». Под спектральной плотностью понимается отношение числа пикселей с интенсивностью I – n_i к общему числу пикселей, на которое разделено изображение – N, т.е. ее можно записать формулой:

$$p(I) = \frac{n_i}{N} \quad (1)$$

Интенсивность яркости отражения измеряется в условных единицах линейной шкалы, за нуль которой принято состояние, соответствующее полному поглощению

падающего на исследуемый фрагмент поверхности света, а за единицу состояние, соответствующее его полному отражению. ФАСИ производит измерения яркости отражения выделенных цветом элементов структуры исследуемого материала, выполняет математические

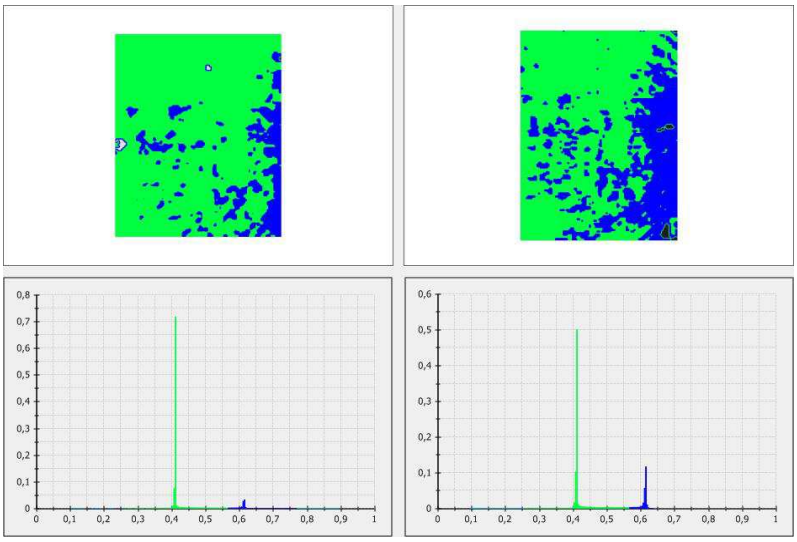


Рис. 2. Результаты сравнения эволюции структуры поверхности образца сплава В95 с покрытием из титана: а) - фрагмент поверхности образца и спектр яркости отражения от него до испытаний, t = 0 с; б) – тоже, но при t = 40 с, х 50

операции над спектрами и выводит результаты анализа в виде графиков, таблиц и рисунков. В качестве критерия повреждаемости материала была принята структурная поврежденность D_s, которая определяется формулой:

$$D_s = \frac{S_i - S_{min}}{S_{max} - S_{min}} \qquad (2)$$

где: S_i - площадь под спектральной кривой i-того фрагмента, S_{min} - минимальное значение площади под спектральной кривой в серии микрофрагментов, S_{max} - максимальное значение площади под спектральной кривой в серии микрофрагментов. Нетрудно убедиться в том, что структурная поврежденность, введенная формулой (2), удовлетворяет начальным и конечным условиям, сформулированным Качановым Л.М. [4] для функции повреждаемости: $D_s(0) = 0$, $D_s(t) = 1$, $0 < D_s(t_i) < 1$. Напряжения, действующие в микрофрагментах, определяли по формуле, известной в линейной механике разрушения [5]:

$$\square = \frac{K_I}{\sqrt{2\pi r}} \cdot cos\frac{\theta}{2} \cdot \left(1 + sin\frac{\theta}{2} \cdot sin\frac{3\theta}{2}\right) \qquad (3)$$

где: r - радиус-вектор, проведенный из точки, расположенной в начале координат, совпадающим с вершиной трещины-надреза в точке, в которой определяются напряжения, θ - азимутальный угол радиуса вектора. Значения КИН были определены по данным ФАСИ [6].

Обсуждение полученных результатов

Методом ФАСИ было проведено сравнение обеих сторон сплава с покрытием из титана. Его результаты показаны на рис. 3. Рисунок ясно указывает на различия в химическом составе поверхности образца до начала испытаний. Съемка

рабочей поверхности образца производилась со стороны покрытия. Из-за пластической деформации клина в процессе его внедрения в упрочненный образец пришлось ограничиться нагрузкой в 600 кг. На изображениях обеих рабочих поверхностей образца для момента времени 40 с. Были выделены последовательности микрофрагментов, берущих начало от вершины трещины-надреза вдоль оси симметрии образца к его краю. Площадь микрофрагмента составляла ~ 5 мм. С помощью ФАСИ были измерены площади под спектральными кривыми отражения света от выделенных микрофрагментов для обеих последовательностей. Далее по формуле (2) были рассчитаны значения структурной поврежденности сплава. По формуле (3) для всех выделенных фрагментов были рассчитаны напряжения, действующие в центрах этих микрофрагментов. По полученным данным были построены зависимости поврежденности материала на обеих рабочих поверхностях образца от величины действующих напряжений, которые приведены на рис. 4.

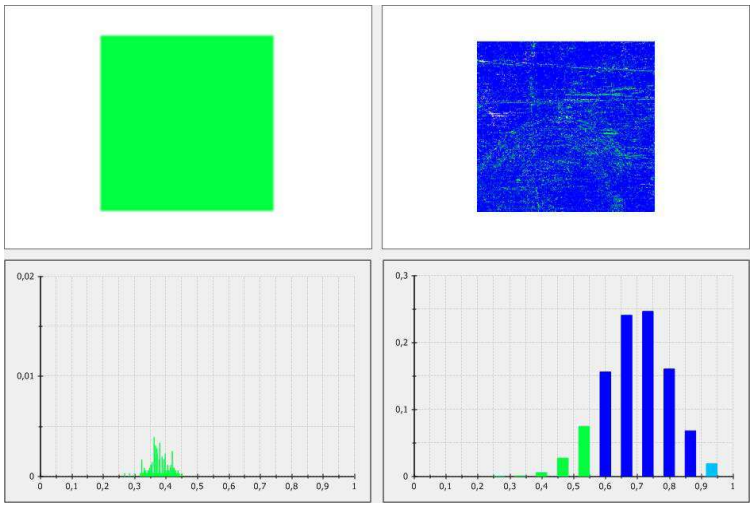


Рис. 3. Результаты сравнения обеих сторон образца сплава В95: а) - изображение фрагмента поверхности и спектра яркости отражения от него без титанового покрытия; б) - тоже, но со стороны с покрытием.

Рисунок ясно указывает на различия в химическом составе поверхности образца до начала испытаний. Съемка рабочей поверхности образца производилась со стороны покрытия. Из-за пластической деформации клина в процессе его внедрения в упрочненный образец пришлось ограничиться нагрузкой в 600 кг. На изображениях обеих рабочих поверхностей образца для момента времени 40 с. были выделены последовательности микрофрагментов, берущих начало от вершины трещины-надреза вдоль оси симметрии образца к его краю. Площадь микрофрагмента составляла ~ 5 мм. С помощью ФАСИ были измерены площади под спектральными кривыми отражения света от выделенных микрофрагментов для обеих последовательностей. Далее по формуле (2) были рассчитаны значения структурной поврежденности сплава. По формуле (3) для всех выделенных фрагментов были рассчитаны напряжения, действующие в центрах этих микрофрагментов. По полученным данным были построены зависимости поврежденности материала на обеих рабочих поверхностях образца от величины действующих напряжений, которые приведены на рис. 4.

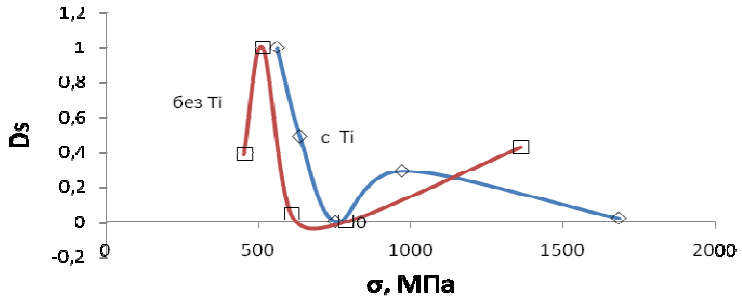


Рис. 4. Зависимости поврежденности образца алюминиевого сплава В95 с титановым покрытием (◇ —) и без него (□—) от действующих напряжений

Данные, приведенные на рис. 4, показывают, что покрытие из титана оказывает положительное влияние на повреждаемость упрочненного сплава В95 в области напряжений ниже 750 МПа и выше 1200 МПа, между этими областями оно уступает упрочненым образцам без покрытия. Немонотонный характер зависимостей, представленных на рис. 4, говорит о скачкообразном развитии разрушения вблизи концентраторов напряжений.

Выводы:

1. Покрытие из титана, нанесенное на поверхнорхность, упрочненого с помощью КМО сплава В95, оказывается эффективным протектором против структурной повреждаемости во всем диапазоне действующих напряжений, исключая диапазон 750 - 1299 МПа.

2. В целом образцы, упрочненные по технологии КМО, по сопротивлению разрушению значительно превосходят образцы в состоянии поставки, прокатанные в холодную.

3. Полученные результаты нуждаются в дополнительном уточнении для оценки количественной оценки эффективности покрытия из титана как замедлителя разрушения.

Работа выполнена по государственному заданию №007-00129-18-00 и при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант № 17-08-00098а).

Список литературы: 1. Партон В.З. Механика разрушения. М.:Наука. 1990, 240 с. **2.** Справочник по авиационным материалам п/р Туманова А.Т. ч. 1 М.:Машиностроение. 455 с. **3.** Ермишкин В.А., Мурат Д.П., Подбельский В.В. Информационные технологии фотометрического анализа усталостной повреждаемости материалов. «Информационные технологии» 2007. №11, С. 65-70. **4.** Качанов Л.М. Основы механики разрушения. М.:Наука. 1974. 311 с. **5.** Черепанов Г.П. Механика хрупкого разрушения. М.:Наука. 1974. 640 с. **6.** Ермишкин В. А., Кулагин С. П., Минина Н. А.,. Соловьева Ю. Б. Сравнительный анализ трещиностойкости сплава В95 в холоднодеформированном и закаленном состояниях методом фотометрического анализа. Прогрессивные технологии и системы машиностроения. №3(54), 2016. С. 41-48.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ЭЛЕМЕНТАРНЫХ ОБРАЗЦОВ ИЗ УГЛЕПЛАСТИКА ПРИ РАЗЛИЧНЫХ ТЕМПЕРАТУРНО-ВЛАЖНОСТНЫХ РЕЖИМАХ

Ершова А.Ю., Мартиросов М.И. (*МАИ (НИУ), г. Москва, Россия*)
Тел. +7(919)786-16-79; E-mail: Yershova_A@mail.ru

Abstract: *The paper presents experimental studies of carbon fiber samples at different temperature and humidity conditions. Statistical processing of numerical data of experiments is carried out. Samples are demonstrated before and after the tests. Practical conclusions and recommendations on the results of the research are formulated.*
Key words: *Polymer composite materials, carbon fiber, experimental studies, structural strength.*

Элементы конструкций современной авиационной техники (АТ) из полимерных композиционных материалов (ПКМ) в процессе эксплуатации подвергаются воздействию внешних нагрузок статического и динамического характера, окружающей среды (температура, влажность, удары молний, град, ультрафиолетовое облучение), а также авиационного топлива, гидравлических жидкостей, смазочных масел, противообледенительных и моющих средств и ряда других факторов. Эти факторы могут привести к снижению механических характеристик ПКМ.

Основными климатическими факторами, влияющими на прочность элементов конструкций, выполненных из ПКМ, являются изменяющиеся во времени температурно-влажностные условия окружающей среды. Известно, что ПКМ обладают способностью абсорбировать влагу из окружающей среды. Диффузия влаги в ПКМ вызывает набухание и действует на матрицу как пластификатор (размягчитель). Следствием этого является снижение температуры стеклования матрицы, что отрицательно влияет на прочностные характеристики материала.

При разработке элементов конструкций АТ с использованием ПКМ в настоящее время у нас в стране и за рубежом проводятся обязательные испытания таких материалов при следующих температурно-влажностных режимах:

- RTD (Room Temperature Dry) – испытания ПКМ при комнатной температуре $+23^0$C и влажности – в состоянии поставки образцов (это состояние, в котором находятся образцы сразу после изготовления, содержание влаги в них не превышает 10% от максимального влагонасыщения при относительной влажности 85%);
- CTD (Cold Temperature Dry) – испытания ПКМ при отрицательной температуре -55^0C и влажности – в состоянии поставки образцов;
- ETD (Evaluated Temperature Dry) – испытания ПКМ при повышенной температуре $+80^0$C и влажности – в состоянии поставки образцов;
- ETW (Evaluated Temperature Wet) – испытания влагонасыщенных образцов из ПКМ при повышенной температуре $+80^0$C (влажность равновесная при выдержке в условиях влажности 85% и температуре $+80^0$C).

При доказательстве прочности создаваемой АТ должны обязательно учитываться воздействия окружающей среды на механические свойства ПКМ при длительной эксплуатации.

В работе проводятся климатико-прочностные испытания элементарных образцов из углепластика с типовой укладкой монослоев $+45^0 / -45^0 / 0^0 / 90^0 / 0^0 / -45^0 / +45^0$ (всего 7 монослоев). Исследуются режимы RTD, ETD и ETW. Проводится их сравнение по прочностным характеристикам.

На основе препрега HexPly M21/40%/285T2/AS4C-6K (паспортная толщина монослоя ~0,285 мм) производства американской фирмы Hexcel Composites (углеродная ткань 285T2/AS4C саржевого переплетения на основе углеродного высокомодульного волокна HexTow AS4C 6K GP, пропитанная эпоксидным модифицированным связующим M21 по технологии Hot Melt) была изготовлена плоская монолитная углепластиковая панель по автоклавной технологии (толщина пакета ~2 мм). Применительно к АТ такой препрег может быть использован для производства сильнонагруженных деталей конструкционного назначения: панелей, лонжеронов и нервюр центроплана; панелей и лонжеронов консоли крыла; обшивок и лонжеронов стабилизатора и киля; нервюр консоли крыла, стабилизатора и киля; балок пола и других элементов.

Для изготовления панели использовался автоклав фирмы MASCHINENBAU Scholz Gmbh & Co.KG (Германия). Далее из углепластиковой панели вырезались стандартные гладкие образцы в продольном (направление вырезки 0º) и в поперечном (направление вырезки 90º) направлениях. Все образцы были подвергнуты неразрушающему контролю. Использовался дефектоскоп ультразвуковой Epoch 1000i фирмы Olimpus (США) и преобразователи этой же фирмы. Кроме проверки на отсутствие внутренних дефектов контроль качества изготовленных образцов проводился на точность их геометрических размеров и отсутствие внешних дефектов.

Разработана программа испытаний исследуемых образцов, которая включала следующие эксперименты:

- растяжение в режиме RTD,
- сжатие в режиме RTD,
- нагрев + растяжение в режиме ETD,
- нагрев + сжатие в режиме ETD,
- влагонасыщение + нагрев + растяжение в режиме ETW,
- влагонасыщение + нагрев + сжатие в режиме ETW.

Эксперименты проводились на электромеханической испытательной машине INSTRON фирмы Instron Engineering Corporation (Великобритания) по российским стандартам.

Управление машиной осуществлялось посредством программного обеспечения INSTRON Bluehill, с помощью которого проводилось задание параметров испытания, управление системой, сбор и анализ данных, полученных в ходе работ. Нагружение образцов проводилось с постоянной скоростью 1МПа/с. Нагрузка измерялась с погрешностью ±1%. Испытание прекращалось при достижении разрушения образца. Получены диаграммы деформирования в осях P-Δl и σ-ε. Исследовался характер разрушения образцов.

Нагрев до заданной температуры проводился с помощью специально разработанного устройства, для контроля температуры применялись термопары. Скорость нагрева образцов до требуемой температуры составляла ~1 градус в секунду. Термопары обладают определенными преимуществами перед другими контактными датчиками: имеют простую и надежную конструкцию, не требуют внешних источников питания, могут использоваться в широком диапазоне температур, недороги.

Влагонасыщение образцов проходило в климатической камере TH-TG-1500 производства фирмы Lab Companion (Южная Корея) в соответствии с ГОСТ 12423-2013 и контролировалось на образцах-спутниках. Образцы-спутники помещались в климатическую камеру вместе с образцами, предназначенными для механических испытаний, и служили для оценки количества поглощенной влаги. Наиболее интенсивное влагопоглощение наблюдалось в первые дни экспонирования. Далее этот процесс протекал с убывающей скоростью и обладал свойством насыщения. Считалось, что равновесное насыщение достигнуто, когда три последовательных взвешивания на электронных весах с интервалом 3 суток дают среднее значение изменения массы поглощенной влаги в образце-спутнике менее

1% от предыдущего значения. Содержание влаги определялось по приращению массы образцов относительно их исходного состояния. Построена кривая влагонасыщения. Проведен теоретический расчет диффузии влаги по закону Фика с учетом переменности коэффициента диффузии в соответствии с зависимостью Аррениуса. Время влагонасыщения образцов составило 75 суток, максимальное влагосодержание 0,9%.

Для количественного учета влияния влагонасыщения и температурного нагрева на характеристики статической прочности исследуемых образцов вводятся редукционные коэффициенты $К_{ВТ}$ и $К_{Т}$, которые характеризуют изменение расчетных характеристик материала по сравнению с обычными лабораторными условиями. В работе определяются коэффициенты влияния климатических воздействий при статических испытаниях образцов на растяжение ($К_{Т+}$ и $К_{ВТ+}$) и сжатие ($К_{Т-}$ и $К_{ВТ-}$) для сравнения режимов RTD, ETD и ETW. Исследуется влияние угла вырезки (0^0 и 90^0) на прочность образцов при растяжении и сжатии.

Проведена статистическая обработка числовых данных экспериментов. Для каждой характеристики, полученной при испытании (разрушающая нагрузка, предел прочности и др.) рассчитаны среднее значение, стандартное отклонение и коэффициент вариации. Демонстрируются образцы до и после испытаний. Проводилась видеосъемка процесса деформирования и разрушения образцов.

Формулируются практические выводы и рекомендации по результатам проведенных в работе исследований.

Ниже приводятся ссылки на некоторые публикации авторов, которые посвящены этой тематике.

Список литературы*:* **1**. Мартиросов М.И., Ершова А.Ю. Деформирование и разрушение элементов авиационных конструкций из полимерных композитов с углеродным наполнителем // Тезисы докладов XXVI Международной конференции «Математическое и компьютерное моделирование в механике деформируемых сред и конструкций». Санкт-Петербург, СПбГУ, 2015 г. С. 216-217. **2**. Ершова А.Ю., Мартиросов М.И. Экспериментальное изучение влияния температурно-влажностных условий окружающей среды на механические свойства полимерных композитов // Материалы XI Международной конференции по неравновесным процессам в соплах и струях. М., МАИ, 2016 г. С. 513-514. **3**. Ершова А.Ю., Мартиросов М.И. ксперимнтально-теоретические исследования прочностных характеристик образцов из углепластика после влагонасыщения // Материалы XXIII Международного симпозиума «Динамические и технологические проблемы механики конструкций и сплошных сред» им. А.Г. Горшкова. Том 1. М., МАИ, 2017 г. С. 82-85. **4**. Ершова А.Ю., Мартиросов М.И. Исследование влияния влагонасыщения на механические характеристики углепластика, изготовленного на основе препреговой технологии // Сборник материалов и конкурсных докладов LIX Международной конференции «Актуальные проблемы прочности». Тольятти, ТГУ, 2017 г. С. 144-145. **5**. Ершова А.Ю., Мартиросов М.И. Статические и климатические испытания образцов из полимерных композитов на основе углеродного наполнителя и эпоксидного связующего // Тезисы докладов VI Международного научного семинара «Динамическое деформирование и контактное взаимодействие тонкостенных конструкций при воздействии полей различной физической природы». М.,МАИ, 2017 г. С. 48-50. **6.** Ершова А.Ю.,Мартиросов М.И. Исследование влияния скорости нагружения на результаты механических испытаний образцов из углепластика с типовой укладкой монослоев // Тезисы докладов 16-й Международной конференции «Авиация и космонавтика». М., МАИ, 2017 г. С. 459-460. **7**. Томашевский А.С., Мартиросов М.И. Выбор критерия прочности для элементов конструкции из полимерных композиционных материалов гражданского самолета // Сборник тезисов докладов XLIV Международной молодежной научной конференции «Гагаринские чтения». Том 1. М., МАИ, 2018 г. С. 81.

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ПРОЦЕССА РАСТАЧИВАНИЯ КРУПНОГАБАРИТНЫХ ДЕТАЛЕЙ ИЗ ТИТАНОВОГО СПЛАВА ВТ6

Жиляев С.В., Кугультинов С.Д., Щенятский А.В., Попов И.В. *(ИжГТУ имени М.Т. Калашникова, «Воткинский завод», г. Ижевск, г. Воткинск, Россия)*
Тел./факс:+7(3412) 776055 доб. 2307, 2319; E-mai: m_dekan@mail.ru

Abstract: *Machining of large parts made of titanium alloys is a very time-consuming process and therefore the task of improving the processing efficiency is very relevant. In this paper, we consider the technological features of the choice of turning modes of large parts made of titanium alloy VT6. The main difference from traditional methods is to use the given mathematical relations for determining rational speed with the workpiece to ensure machining the entire surface of the part without changing the edge profile of the plate.*

Key words: titanium alloys, cutting mode, durability cutting tools, experimental research.

В настоящее время руководство России уделяет большое внимание развитию предприятий оборонно-промышленного комплекса. Но вместе с этим обращается внимание на соответствие тактико-технических данных и качества выпускаемой продукции современным требованиям. Ракетная техника, выпускаемая ранее в Советском Союзе и ныне в России, всегда, не только соответствовала лучшим мировым образцам, но зачастую и превосходила их. Ее развитие неразрывно связано с использованием материалов, отвечающим высоким эксплуатационным требованиям, и с прогрессом механической обработки резанием, т.к. от качества ее выполнения во многом зависит собираемость изделий и надежность их работы. Поэтому, усовершенствование обработки металлов резанием, наряду с дальнейшим развитием материаловедения, является актуальной задачей, от качественного решения которой зависят и снижение себестоимости, и повышение качества производимых изделий ракетной техники.

Анализ литературы и производственного опыта показывает , что в современных условиях одними из наиболее распространенных материалов для изготовления ракетной техники благодаря своим физико-механическим свойствам в сочетании с невысоким удельным весом являются титановые сплавы. При этом около 50 % используемого в аэрокосмической отрасли титана приходится на сплав ВТ6. Однако из-за этих же физико-механических свойств обработка титановых сплавов резанием затруднена и зачастую вызывает большие проблемы, которые усугубляются когда речь идет о крупногабаритных деталях. Это связано с тем, что продолжительность обработки одной поверхности может достигать десяти и более часов. Т.е. стойкости режущего инструмента недостаточно для обработки всей поверхности, что ведет к возникновению ступеньки в месте остановки процесса резания для замены резца высотой до 0,5 мм. Наличие такого дефекта на обработанной поверхности недопустимо и поэтому требуется дополнительная обработка, которая влечет за собой еще большее увеличение трудоемкости.

В производственных условиях для увеличения периода стойкости, как правило, режимы резания сильно занижаются и назначаются зачастую наугад, т.к. экспериментировать в производственных условиях при обработке серийных деталей не представляется возможным, что существенно снижает эффективность механической обработки крупногабаритных деталей из титановых сплавов.

Для совершенствования технологии обработки резанием крупногабаритных деталей из титанового сплава ВТ6 большое значение имеет назначение рациональных режимов резания, позволяющих производить обработку всей поверхности детали за период стойкости режущего инструмента с обеспечением требуемых точности и качества. При этом назначение режимов резания, как показывает производственная практика, сводится к выбору рациональной скорости резания, так как глубина резания обычно равна припуску на обработку, а подача определяется исходя из требуемой шероховатости обработанной поверхно-

сти и жесткости системы СПИД. Кроме того, глубина резания, как и подача, может ограничиваться мощностью привода главного движения.

Для выбора рациональной скорости резания, позволяющей обеспечить заданную стойкость режущего инструмента, были проведены экспериментальные исследования для получения зависимости стойкости от скорости резания.

Экспериментальные исследования проводились в лабораторных условиях на токарно-винторезном станке 16К40. В качестве заготовок использовались прутки титанового сплава ВТ6 диаметром 150 мм и длиной 680 мм, а в качестве режущего инструмента - проходной резец (державка PSDNN 4040S25) со сменной многогранной пластиной SNMM 250724 R1 производства Кировоградского завода твердых сплавов. Критерием затупления был принят износ по задней грани - $h_З$ = 0,5 мм. Это значение было выбрано в соответствии с рекомендациями работы [1], а также в целях экономии дорогостоящего материала заготовки.

Величина износа $h_З$ измерялась на микроскопе БМИ-1.

При проведении данных исследований, использовалась методика однофакторного эксперимента [3], т.е. варьировалась только скорость резания, а подача и глубина резания сохранялись неизменными (t = 4 мм; So = 0,22 мм/об). В ходе экспериментальных исследований было принято четыре значения скорости резания (V≈10,2 м/мин; V≈15 м/мин; V≈20 м/мин; V≈26 м/мин).

В ходе опытов каждому значению скорости резания соответствовало три величины периода стойкости. График зависимости $T = f(V)$ при точении без охлаждения заготовок из титанового сплава ВТ6 представлен на рис. 1.

Полученную зависимость удобно описать степенной функцией:

$$T = \frac{C_T}{V^x}, \quad (1)$$

где V – скорость резания; C_T – постоянный коэффициент, зависящий от условий обработки и обрабатываемого материала; x – показатель степени.

Показатель степени $\boldsymbol{x}$ и постоянный коэффициент $\boldsymbol{C_T}$ определяли по известной методике [3]. В результате зависимость (1) приняла вид:

$$T = \frac{159504}{V^{2,3}}, \quad (2)$$

Определить рациональное значение частоты вращения шпинделя станка (n), обеспечивающую обработку всей поверхности детали за период стойкости режущего инструмента, можно из следующего соотношения:

$$T = k \times \tau_o, \quad (3)$$

где k – коэффициент, гарантирующий обработку всей поверхности, равный 1,1;
τ_0 - время, затрачиваемое на обработку поверхности заданной длины, мин.

Скорость резания равна [3]:

$$V = \frac{\pi \times D \times n}{1000}, \quad (4)$$

где D – диаметр обрабатываемой заготовки, мм.

А время, затрачиваемое на обработку поверхности заданной длины, определяется выражением [3]:

$$\tau_0 = \frac{L}{n \times S_0}, \quad (5)$$

где So – осевая подача, мм/об, L – длина обрабатываемой поверхности, мм.

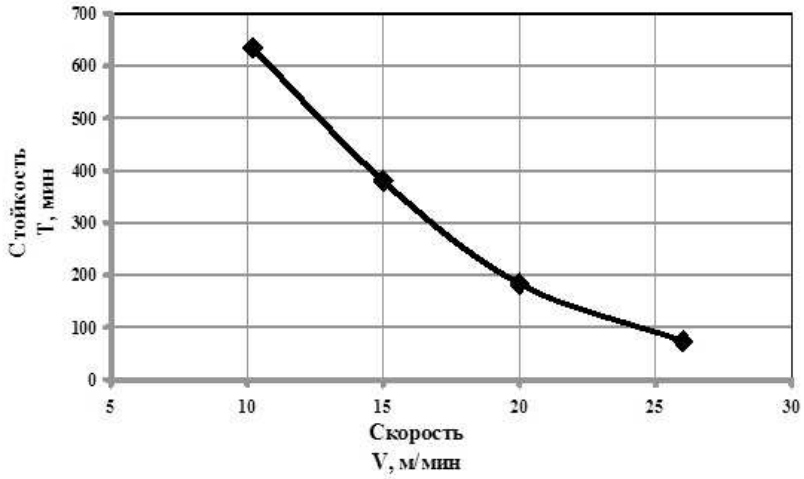


Рис. 1. Экспериментальная зависимость стойкости от скорости резания при точении без охлаждения титанового сплава ВТ6, (*So*=0,22 мм/об; *t*=4 мм)

Подставив в выражение (3) зависимости (1), (4), (5), получим:

$$\frac{C_T}{\left(\frac{\pi \times D \times n}{1000}\right)^x} = \frac{k \times L}{n \times S_0}\ , \qquad (6)$$

Из выражения (6) определим рациональную частоту вращения шпинделя:

$$n = \sqrt[x-1]{\frac{S_0 \times C_T \times 1000^{\ x}}{(\pi \times D)^x \times k \times L}}\ .$$

После подстановки коэффициентов из выражения (2) получим:

$$n = \sqrt[1,3]{\frac{S_0 \times 159504 \times 1000^{2,3}}{(\pi \times D)^{2,3} \times k \times L}}\ .$$

Промышленная апробация проводилась в производственных условиях при точении и растачивании заготовок детали типа фланец диаметром порядка 2000 мм и высотой около 100 мм из титанового сплава ВТ6 на токарно-карусельном станке модели 1525Ф1 с частотой вращения рассчитанной по предлагаемой методике. Износ по задней грани неперетачиваемой пластины резца на протяжении всей длины режущей кромки не превышал 0,5 мм, что обеспечивало получение размера обработанной поверхности в пределах допуска. Аналогичный результат был получен и при растачивании отверстия на этой же детали. Результатом промышленной апробации явилось снижение трудоемкости выполняемой операции в 1,8 раза.

Таким образом, можно сделать вывод о том, что определение рациональной частоты вращения шпинделя станка по предлагаемой методике позволит обеспечить гарантированную обработку всей поверхности детали без смены грани неперетачиваемой пластины. Производственная апробация методики показала, что она справедлива как для точения, так и для растачивания.

Список литературы: 1. Кривоухов В.А. и Чубаров А.Д. Обработка резанием титановых сплавов. М., «Машиностроение», 1970. – 183 с. **2.** Жучков Н.С., Беспахотный П.Д., Чубаров А.Д. и др. Повышение эффективности обработки резанием заготовок из титановых сплавов. М., «Машиностроение», 1989. – 152 с. **3.** Кугультинов С. Д., Ковальчук А.С., Портнов И.И. Технология обработки конструкционных материалов: Учебник для вузов. – Изд. 3-е, перераб. и доп. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2010. – 678 с.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ ВАЛКОВОЙ ДРОБИЛКИ-ГРЕБНЕ ОТДЕЛИТЕЛЯ

Заляева Г.О., ЛепскаяЮ.П.
(КамчатГТУ, г. Петропавловск-Камчатский, Россия)
Тел. +7(984)1637436; E-mail: lenarza@mail.ru

Abstract: *In the paper the calculation of optimum design parameters of a roller destemmer-crusher is given. The basic design and kinematic characteristics of the machine are determined.*

Key words: *destemmer-crusher, optimal parameters, structural and kinematic characteristics, raw material properties.*

Дробилка-гребнеотделитель (рис. 1) предназначена для измельчения винограда, отделения гребней от сусла.

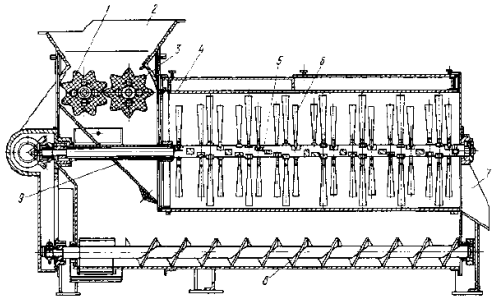


Рис. 1. Дробилка-гребнеотделитель: 1,3 – валки; 2 - бункер; 4 – цилиндр; 5 – вал; 6 – бич; 7 – лоток; 8 – шнек; 9 – заслонка

Производительность валковой дробилки зависит от физических свойств измельчаемого материала – от его размеров на входе и требуемой крупности на выходе, так как именно они определяют конструктивные размеры дробилки [1].

Расчетные параметры сырья: предел прочности винограда на сжатие, σ_p = 0,15 МПа, сила давления, F = 30,3 Н.

Угол захвата материала определяется исходя из следующих соображений: на частицу материала A, находящегося между валками (рис. 2), действует сила давления P валка, которая может быть разложена на вертикальную и горизонтальную составляющие. Сила P вызывает силу трения fP.

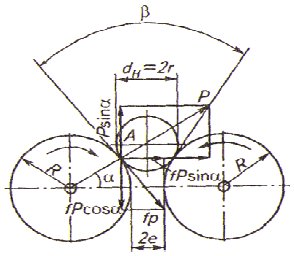


Рис. 2. Принципиальная схема вальцовых машин

Для того чтобы частица втягивалась между валками и измельчалась, необходимо, чтобы втягивающие силы при вращении двух валков были больше выталкивающих сил, т. е. должно соблюдаться условие

$$2\,fP\cos\alpha \geq 2\,f\,\sin\alpha.$$

Отсюда угол захвата α = 18°, так как при этом угле соблюдается равенство угла захвата углу трения между материалом и валком и обеспечивается захватывание частицы материала гладкими валками.

Необходимый диаметр валка принимается в 20...25 раз больше размера захватываемых частиц.

Для определения скорости движения материала рассматривается зависимость частоты вращения валков от различных факторов (рис. 3).

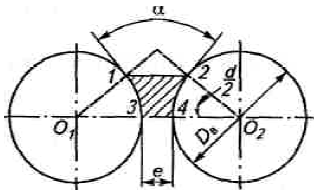


Рис.3. Схема движения частиц между валками

Измельчаемый виноград движется к выходной щели под действием сил трения, возникающих между материалом и поверхностью валков. В начале зоны измельчения *1-2* (рис. 3) скорость движения материала очень мала и ее можно принять равной нулю. Затем эта скорость увеличивается и в некоторый момент (зона *3-4*) достигает окружной скорости валков, причем частицы выходят с этой скоростью из зоны измельчения [2].

Скорость движения материала зависит от ускорения, вызванного действием сил трения и массы материала, находящегося между валками. Определив эти промежуточные параметры, получаем оптимальную скорость движения материала $\omega_м$ =0,5 м/с.

Сила давления P зависит от начального и конечного размера частиц измельчаемого материала, модуля упругости E и предела прочности σ_p измельчаемого материала на сжатие [3]:

$$P = \sigma_p^2 V / [E(d_н - d_к)],$$

в результате расчетов получено значение силы P = 1320 Н.

Процесс обработки исходного сырья валковой дробилкой можно регулировать изменением скорости вращения валков и расстояния между ними, поэтому определение оптимальной скорости вращения валков является одним из основных пунктов при расчете дробилки (ρ = 1110 кг/м^3 – плотность измельчаемого продукта, $f_д$ – динамический коэффициент трения):

$$n = 616\sqrt{f_д / (\rho d_н D)},$$

получено n = 90 мин$^{-1}$. Отметим, что дальнейшее увеличение частоты вращения не приводит к увеличению производительности дробилки, а ведет к увеличению ее износа и расхода энергии [4].

Таким образом, были определены основные параметры дробилки-гребнеотделителя орт которых зависит качество получаемого продукта. Реализация этих параметров возможна путем реализации конструктивных особенностей составных частей дробилки, а также обоснованным подбором приводного узла – редуктора и электродвигателя.

Список литературы: 1. И.Т.Кретов, С.Т.Антипов, С.В.Шахов. Инженерные расчеты технологического оборудования предприятий бродильной промышленности: учебники и учеб. пособия для студентов высших учебных заведений. –М.: Колос.С., 2004. – 169 с.**2.** С.Т.Антипов, И.Т.Кретов, А.Н.Остриков и др. Машины и аппараты пищевых производств: учеб. для вузов. В двух книгах. Под ред.акад. РАСХН В.А.Панфилова. – М.: Высш. шк., 2001. – 1379 с. **3.** Зайчик Ц.Р.Технологическое оборудование винодельческих предприятий: учеб. пособие для студентов высших учебных заведений, 2-е изд., перераб. и дополн. — М.: ДеЛи, 2001. – 522 с. **4.** Курочкин А.А., Зимняков В.М. Основы расчета и конструирования машин и аппаратов перерабатывающих производств: учеб. пособие для вузов. – М.: КолосС, 2006. — 320 с.

ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ ИЗМЕЛЬЧИТЕЛЬНОГО ОБОРУДОВАНИЯ ПРЕДПРИЯТИЙ ПИТАНИЯ

Заплетников И.Н., Пильненко А.К., Квилинский О.Д., Савченко С.М. *(Донецкий национальный университет экономики и торговли имени Михаила Туган-Барановского)*
Тел./Факс: +38 (062) 3044547; E-mail: obladn@kaf.donnuet.education

Abstract: *The article presents vibroacoustic characteristics equipment for grinding food products catering enterprises. Is given environmental compliance assessment with modern standards requirements and sanitary norms and rules. Are given recommendations on ecological efficiency the use of this equipment.*
Key words: *monitoring, vibroacoustics, equipment for grinding food products, catering.*

Измельчительное оборудование получило наибольшее распространение на предприятиях питания. К нему относятся машины измельчения овощей (МРО), протирочные (МП), измельчения мяса (МИМ), нарезания гастрономических изделий (МРГ), измельчения хлеба (МХР), комбинированные, типа протирочно-резательные (МПР).

Производством этого оборудования занимаются разнообразные предприятия: заводы торгового и продовольственного машиностроения, фирмы Bercel, Xelde, Sigma и ряд других, расположенных в различных частях мира.

Несмотря на аналогичные технологические функции по обработке пищевого сырья и пищевых продуктов измельчительное оборудование отличается конструкцией, имеет различные кинематические, динамические, силовые и другие параметрические характеристики. Весьма существенную роль при изготовлении машин, их сертификации и эксплуатации играют и виброакустические характеристики (ВАХ).

Они определяют соответствие экологическим и санитарным нормам, качество конструкций машин, а также конкурентоспособность оборудования на мировых рынках.

Целью работы является систематизация значений ШХ измельчительного оборудования предприятий питания, определение предельно допустимых значений оборудования по шуму (ПДОШХ) и провести мониторинг оборудования.

Кафедра оборудования пищевых производств ГО ВПО Донецкого национального университета экономики и торговли имени Михаила Туган-Барановского в лаборатории виброакустики проводит мониторинг шумовых (ШХ) и вибрационных (ВХ) характеристик технологического оборудования предприятий питания. В результате установлены ШХ оборудования в различных режимах его работы: без нагрузки и под нагрузкой с различными продуктами. Исследованиями установлено, что уровень шума, излучаемый оборудованием, зависит от физико-механических свойств обрабатываемого продукта,его модуля упругости, структуры, плотности и др. [1-3] . В таблице 1 приведены ШХ измельчительного оборудования предприятий питания только по характеристике А,
которая принята в последней редакции СН (РФ) по шуму в качестве основной [4, 5] при постоянных шумах, а также ее максимальное значение. Как показали предыдущие эксперименты, измельчительное оборудование предприятий питания излучает именно такие шумы.

Таблица 1. Шумовые характеристики измельчительного оборудования предприятий питания

пп	Наименование оборудования, обрабатываемый продукт	Корректированные под уровни звуковой мощности, дБА				
		Эквивалентные		Макси-маль-ный	ПДШХ	Превышение ПДШХ
		без нагрузки	под нагрузкой			
1	2	3	4	5	6	7
1.	Протирочные машины:	74		76	78	-
	МП-800					
	свекла вареная		75			-
	морковь вареная		76			-
	картофель вареный		74			-
	МП-1000	71		78	83	-
	свекла вареная		78			-
	морковь вареная		76			-
	картофель вареный		77			-
2.	Машины измельчения сырых овощей:					
	МРО 50-200	70		78	78	-
	свекла		78			-
	морковь		77			-
	картофель		77			-
	капуста		78			-
	МРО-350	79		86	78	8
	свекла		86			8
	морковь		85			7
	картофель		83			5
	капуста		83			5
	«Гамма 5А»	74		89	77	-
	свекла		87			10
	морковь		85			8
	картофель		89			12
	капуста		84			7
	МРО 400-1000 (с барабанным загрузочным приспособлением)	88		89	88	1
	свекла		89			1
	капуста		86			-
	лук		88			-
	Малогабаритный привод УММ-ПР с овощерезкой	85	86	86	80	6 6

Продолжение таблицы 1.

	Robot Coupe CL-30 (Франция)	82,5		82,5	83	0,5
	свекла					
	картофель		76,6			-
	УКМ с овощерезательным		79,2			-
	механизмом 170 об/мин					-
	картофель	77	74	77	77	-
	330 об/мин					
	картофель	82	83			6
	категории					
	рыба дефростированная (семга)		72,7			-
3.	Машина протирочно-резательная МПР-350	76		89	77	-
	свекла		89			12
	морковь		86			9
	картофель		86			9
	капуста		84			7
4.	Машины измельчения мяса и рыбы					
	МИМ-250	84		84	83	1
	мясо говяжье первой категории		84			1
	МИМ-300	87		87	82	5
	мясо говяжье первой категории		87			5
	МИМ-500	81		84	83	1
	мясо говяжье первой категории		84			1
	МИМ-600 (серийная)	86,6		87	83	4
	мясо говяжье первой категории					4
	МИМ-600 с ножами косого резания	88,5	87	89	83	6
	УММ-ПР мясорубка	83	84	84	80	3
	мясо говяжье первой категории					4
	Concar ME 12E (Хорватия)	79,7	74,1	79,7	80	-
	мясо говяжье первой			74,1		-
5.	Машины измельчения гастрономических продуктов МРГУ-370					
	колбаса «Сервелат»	80	80	80	84	-
	«Topaz-195»					
	колбаса «Сервелат»	55,6	57,6	57,6	80	-
	колбаса «Салями»		55,6			-
	колбаса «Молочная»		55,4			-
	сыр «Российский»		55,6			-
	хлеб		56,6			-

Продолжение таблицы 1.

6.	Машины нарезания хлебобулочных изделий					
	АХМ-300Т	80		80	82	-
	SYNMAG SL-302 (Италия)	89,3		89,3	86,3	3
	батон белый		81,2			-
	хлеб «бородинский»		80,9			-
	хлеб «отрубной»		85,0			-
	МХР-200	92		92	82	10
	хлеб пшеничный формовой		92			10
	хлеб «саратовский»		92			10
	хлеб «бородинский»		92			10
	батон нарезной		92			10

Измерение ШХ проводилось техническим методом в соответствие со стандартами ISO «Акустика», в реверберационных помещениях аттестованными шумомерами RFT 00023, 00026 (Германия), а также шумомерами ВШВ-003 и «Ассистент» (РФ). Расчет ПДШХ измельчительного оборудования проведен в соответствии стандартами РФ [6,7] и рекомендациями [1-3], среднеквадратное отклонение воспроизводимости не превышает 1,5 дБА.

Заключение

1. Экологическим требованиям среди измельчительного оборудования полностью соответствуют протирочные машины, машины для измельчения сырых овощей МРО 50-200, Robot Coupe CL-30, УКМ (170 об/мин), машины измельчения гастрономических продуктов и мясорубка Concar ME 12E.

2. Уровень шума, значительно превышающий ПДШХ, излучают овощерезки «Гамма-5», МПР-350, МРО-350 и хлеборезка МХР-200 при работе с продуктом.

Мясорубки МИМ-300 и МИМ-600 также требуют снижения ШХ при работе с продуктом.

3. ШХ оборудования, в основном, соответствуют экологическим требованиям по шуму при работе без нагрузки.

Заводам-изготовителям данного оборудования рекомендуется разрабатывать его конструкцию с ШХ, соответствующую рабочему режиму.

Список литературы: **1.** Заплетников, И.Н. Виброакустика оборудования пищевых производств: монография / И.Н. Заплетников. – Харків: Вид-во НТМТ, 2015. – 542 с. ISBN 978-617-578-223-1. **2.** Пильненко А.К., Исследование влияния технологических параметров на шумовые характеристики машины для измельчения мяса / А.К. Пильненко, И.Н. Заплетников, О.Д. Квилинский // «Вестник ВГУИТ» : научно-практ. журнал. – Воронеж: ВГУИТ, 2016. – №4. – С. 41-48. **3.** Заплетников И.Н., Шумовые характеристики оборудования общественного питания и показатели его качества / И.Н. Заплетников, А.К. Пильненко, И.С. Севаторова // Noise. Theory and practice: Научный журнал Балт. гос. техн. ун-т "ВОЕНМЕХ" им. Д.Ф. Устинова – СПб: БГТУ "ВОЕНМЕХ", 2017. – Вып. 3. – №2. – С.17-24. **4.** ГОСТ 12.1.003 Система стандартов безопасности труда. Шум. Общие требования безопасности. – М.: Стандартинформ, 2015. – 26 с. **5.** СанПиН 2.2.4.3359–16 Санитарно-эпидомиологические требования к физическим факторам на рабочих местах: URL:htt://docs.cntd.ru/dokument/420362948. **6.** ГОСТ 30530-97 Методы расчета предельно допустимых шумовых характеристик стационарных машин. **7.** ГОСТ 27409-97 Шум. Нормирование шумовых характеристик стационарного оборудования.

ПРИМЕНЕНИЕ МНОГООСЕВЫХ ОПОР В КОНСТРУКЦИИ КРУТОНАКЛОННОГО КОНВЕЙЕРА

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: obladn@kaf.donnuet.education*

Abstract: *This paper is devoted to the development of multi-axis supports in the construction of a steeply tilted belt conveyor. The belt conveyor is thus constructed with the lower supporting ribbon mounted on the supporting frame in the form of a set of separate quick-release support rollers arranged at a certain pitch, fixed with spring clips on the side disks, which are wrapped both on their axes and on the common drum axis. The use of steeply-bent conveyors of this design makes it easier to support the moving lower branch of the conveyor belt and eliminates the possibility of emergency situations.*
Key words: *Steep belt conveyor, angle of inclination, support rollers.*

В определенных условиях эксплуатации и на некоторых погрузочных машинах и перегружателях применяют крутонаклонные конвейеры. Под крутонаклонными ленточными конвейерами понимают конвейеры, специально приспособленные для перемещения грузов под углами, превышающими максимальные (критические) углы, при которых насыпной груз, лежащий на грузонесущем органе конвейера, начинает скользить и не скатываться под действием силы тяжести. Здесь следует отметить, что к крутонаклонным конвейерам не относятся установки, подъем груза которыми осуществляется главным образом с помощью вибрационного воздействия на него от несущего органа (виброподъемники и др. различные вибротранспортеры) или способом черпания (ковшовые роторные или цепные машины и т.п.).

Крутонаклонные конвейеры по сравнению с обычными ленточными конвейерами позволяют значительно сократить длину транспортирования при одинаковой высоте подъёма. По способу удержания груза на ленте можно выделить три основные группы крутонаклонных конвейеров: с повышенным коэффициентом трения транспортируемого груза о грузонесущую поверхность ленты; с повышенным нормальным давлением груза на ленту; со специально закреплёнными на ленте подпорными элементами для поддержания груза. Повышение коэффициента трения между грузом и лентой достигается в основном за счёт привулканизированных (приклеенных) на её рабочей поверхности рифов и выступов различного профиля высотой 10…45 мм. Повышение нормального давления груза на ленту достигается путём придания ей многороликовыми опорами формы глубокого жёлоба.

Существуют конструкции крутонаклонных конвейеров с закреплёнными на ленте подпорными элементами: с лотковой лентой и закреплёнными на ней фасонными перегородками; с плоской лентой, поперечными перегородками и гофрированными бортами высотой до 400 мм. Последние обеспечивают транспортирование мелкокусковых грузов при углах наклона до 45…50°. Благодаря волнистой форме бортов обеспечивается возможность деформации ленты при огибании концевых барабанов. Порожняковая ветвь ленты опирается своими краями на дисковые ролики или поддерживается неприводным замкнутым контуром дополнительной ленты. Недостатки крутонаклонных конвейеров с подпорными элементами – усложнение конструкции и возможность просыпания частиц груза. Основным недостатком таких конвейеров является ненадежная поддержка нижней подвижной части ленты с высокими перегородками.

Ведутся работы по совершенствованию и созданию конструкций крутонаклонных конвейеров, обеспечивающих транспортирование грузов под

большими углами наклона. Количество предложенных и частично осуществленных типов крутонаклонных конвейеров довольно значительная, однако нельзя считать, что уже создано довольно проверенные и несложные конструкции, которые отвечают соответствующим требованиям. Самой трудной частью в изготовлении ленточных конвейеров для больших углов наклона с высокими перегородками, способных перемещать грузы под углом наклона до 60°, является поддержка нижней подвижной части ленты [1]. От этого зависит надежность работы конвейера.

В основу данной работы поставлена задача создания ленточного конвейера для больших углов наклона с высокими перегородками для перемещения сыпучих грузов под большими углами (до 45°) наклона конвейера, что даст возможность увеличить производительность конвейера.

Поставленная задача решается тем, что ленточный конвейер (рис. 1) выполнен с установленными на опорной раме нижними поддерживающимися ленту барабанами (блоками) в виде набора отдельных быстросъемных опорных роликов, расположенных с определенным шагом, закрепленных пружинными скобами на боковых дисках, которые оборачиваются как на своих осях, так и на общей оси барабана (блока) [2].

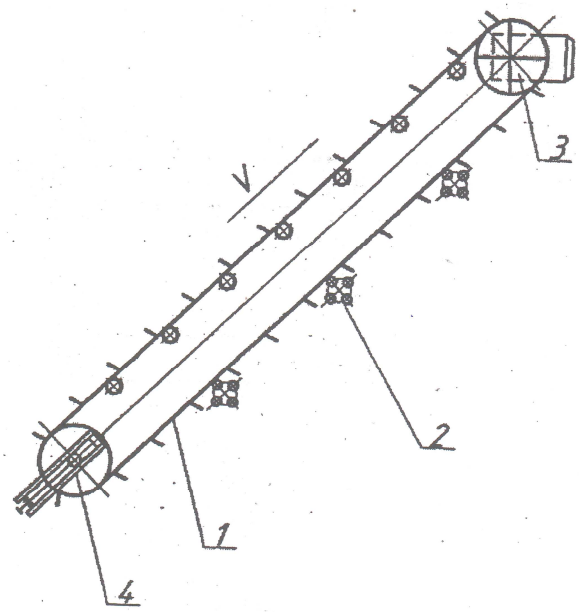


Рис. 1. Ленточный конвейер для больших углов наклона
1 – лента, 2 – поддерживающие барабаны, 3 – барабан приводной, 4 – барабан натяжной

На ленте есть перегородки 7 (рис 2), удерживающие подвижный груз от сползания при увеличении угла наклона конвейера больше критической величины транспортируемого груза.

Высота перегородок зависит от необходимой производительности конвейера. Форма перегородок зависит от формы поперечного сечения желоба верхней грузовой ветви конвейера. Рабочая ветвь опираетесь на трехроликовую опору 6. Также опоры могут быть 2-х или 5-ти роликовыми. Эти роликоопоры закрепляются на жесткой или канатной раме. Холостая ветвь ленты опирается на специальные барабаны (блоки), установленные на раме конвейера.

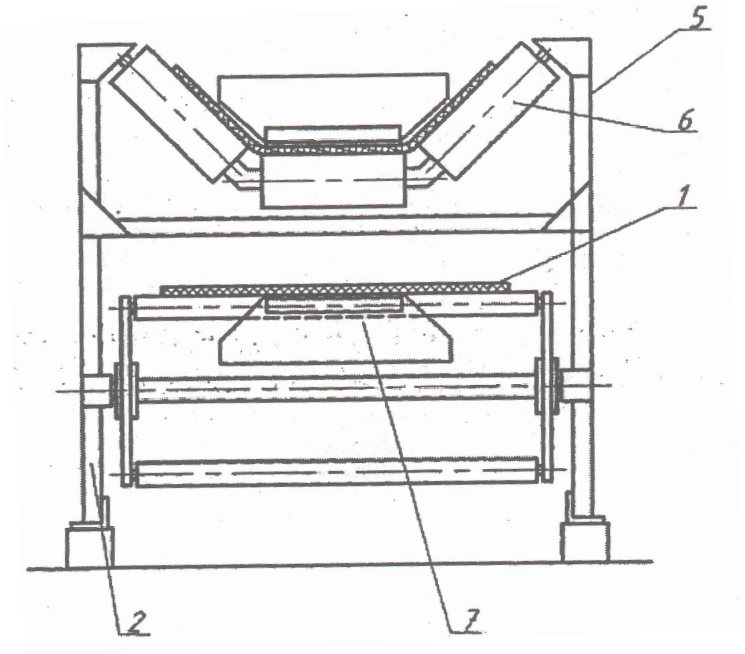


Рис. 2. Поперечное сечение ленточного конвейера для больших углов наклона
1 – лента, 2 – барабаны, 5 – опора, 6 – трехроликовая опора, 7 – перегородка

Нижние поддерживающиеся барабаны 2 (рис. 3 и 4) выполняются из двух боковых дисков 8, имеющих ось 9 и подшипниковые узлы 10. На боковых дисках 8 с помощью пружинных скоб (возможны и другие способы крепления) закреплены опорные ролики 11, которые могут оборачиваться вокруг своей оси. Шаг перегородок 7, их высота и другие размеры регламентируются в основном углом наклона конвейера и его производительностью.

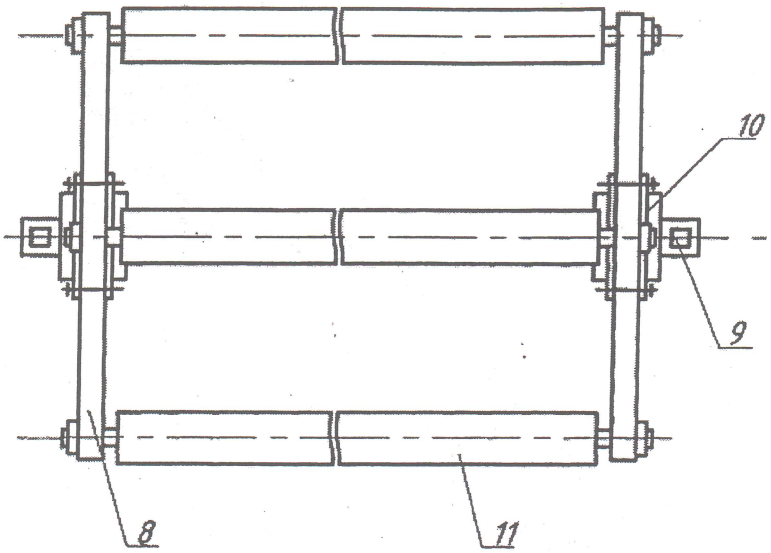


Рис. 3. Блок поддержки холостой ветви ленты конвейера для больших углов наклона
8 – диск, 9 – ось, 10 – узлы подшипников, 11 – ролик

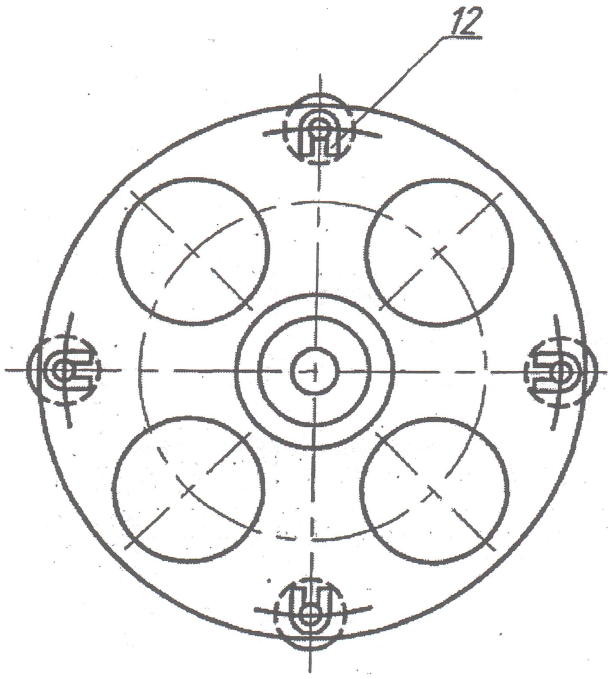


Рис. 4. Ролик

Ленточный крутонаклонный конвейер работает следующим образом.

Холостая ветвь ленты 1 (рис. 2) крутонаклонного конвейера надвигается на поддерживающиеся барабаны 2, при этом высокие перегородки входят в свободное пространство, образованное расположенными на внешних дисках опорными роликами 9, захватывают эти ролики и вращают поддерживающийся барабан.

Лента 1 опирается на ролики 11, которые оборачиваются при движении ленты. В это время поддерживающийся барабан 2 может стоять без вращения и только при подходе следующей перегородки он поворачивается.

Некоторые вертикальные колебания, величина которых зависит от диаметра фиксации роликов 11 и их количества, дополнительно приводит к улучшению очищения ленты от налипшего груза. Диаметр расположенных поддерживающих роликов 11 по периметру боковых дисков зависит от высоты перегородок.

Вывод: применение крутонаклонных конвейеров предусмотренной конструкции упрощает поддержку движущейся нижней ветви ленты конвейера и исключает возможность аварийных ситуаций. При увеличении высоты перегородок, что позволяет предложенная конструкция нижних роликоопор, в значительной степени можно увеличить или угол наклона конвейера, и тем самым снизить его длину и капитальные затраты, или увеличить производительность конвейера. При этом ширина ленты и скорость ее движения остаются неизменными.

Список литературы: 1. Современная теория ленточных конвейеров горных предприятий : учебное пособие для студентов вузов / В.И. Галкин, В.Г. Дмитриев, В.П. Дьяченко, И.В. Запенин, Е.Е. Шешко . – 2-е изд. – М. : Издательство «Горная книга», 2011. – 544 с. **2.** Пат. на пол. модель Украины № 47496, МПК B65G 15/00 (2009). Ленточный конвейер для больших углов наклона / Барышев А.И., Громов С.В., Панченко И.С.; заявитель и патентообладатель: Донецкий национальный университет экономики и торговли им. Михаила Туган-Барановского – u 200907755; заявл. 23.07.2009; опубл. 10.02.2010, Бюл. № 3 – 4 с. ил.

АНАЛИЗ ТЕПЛОВОГО СОСТОЯНИЯ ТВЕРДОСПЛАВНЫХ ТОРЦОВЫХ ФРЕЗ С ИЗНОСОСТОЙКИМИ ПОКРЫТИЯМИ

Ивченко Т.Г., Петряева И.А.
(ДонНТУ, г. Донецк, Украина)
Тел./Факс: +38 (062) 3050104;E-mail: tm@mech.dgtu.donetsk.ua

Absract: *The analysis of conformities to law of forming of thermal streams and cutting temperatures in the area of treatment at face milling by cutting tools with wear proof coverage is executed. The improvement calculation method of cutting temperature at face milling taking into account irregularity of process in the conditions of the unset heat exchange is developed is developed. Character and degree of influence of cutting speed, feed and cutting depth on the cutting temperature at face milling is set.*
Key words: *milling, unset heat, thermal stream, cutting temperatures, wear proof coverage.*

Твердосплавные режущие инструменты с износостойкими покрытиями, в том числе и торцовые фрезы, широко распространенные в современном производстве, существенно повышают эффективность механообработки [1, 2]. В связи с этим, представленные исследования теплового состояния торцовых фрез весьма актуальны.

Известные исследования работоспособности торцовых фрез с износостойкими покрытиями, включая и их тепловое состояние, выполнены преимущественно экспериментальным путем [1]. Существующая методика аналитического исследования тепловых потоков и температур резания при обработке инструментами с износостойкими покрытиями предназначена для условий непрерывного резания – точения [2].

В настоящее время известна методика расчета тепловых потоков и температур, позволяющая аналитически исследовать тепловые явления в зоне резания [3, 4]. Достоинством указанной методики является возможность расчета температур при фрезеровании с учетом прерывистого характера процесса резания по результатам их расчетов в тех же условиях непрерывного резания, что существенно упрощает исследования влияния параметров механической обработки на температуру резания при фрезеровании [5].

Однако разработанная методика не учитывает особенностей процесса фрезерования инструментами с износостойкими покрытиями. Представляет интерес ее дальнейшее развитие применительно к торцовым фрезам с покрытиями.

Цель работы – совершенствование методики расчета тепловых потоков и температур резания при фрезеровании торцовыми фрезами с различными износостойкими покрытиями.

При анализе теплового состояния торцовых фрез необходимо учитывать прерывистый характер процесса резания в условиях неустановившегося теплообмена. Температурное поле, возникающее в лезвии режущего инструмента под воздействием прямоугольного источника теплоты (*bxl)* при неустановившемся теплообмене, описывается следующим образом:

$$\Theta(x,y,z,\tau) = P_o T(\psi,\nu,\zeta,F_o) = \frac{K_\beta q l}{4\pi\lambda}\int_0^1 d\psi_u \int_{-\eta}^{\eta} \frac{\left(1 - erf\left[\frac{\sqrt{(\psi-\psi_u)^2+\nu^2+(\zeta-\zeta_u)^2}}{2\sqrt{F_o}}\right]\right)}{\sqrt{(\psi-\psi_u)^2+\nu^2+(\zeta-\zeta_u)^2}} d\zeta_u , \quad (1)$$

где $P_o = K_\beta\, ql/4\pi\lambda$ - размерный коэффициент; $T(\psi,\nu,\zeta,F_o)$ - закон распределения температур в лезвии инструмента в безразмерном виде; $\psi = x/l$; $\psi_u = x_u/l$; $\nu = y/l$; $\zeta = z/l$; $\zeta_u = z_u/l$; $\eta = 0{,}5b/l$ - безразмерные величины; b – ширина среза; l – длина контакта стружки с

передней поверхностью; $F_o = \omega\tau / l^2$ - безразмерный критерий времени, или критерий Фурье; λ, ω - коэффициенты теплопроводности и температуропроводности инструментального материала; K_β - коэффициент, учитывающий угол заострения β; q - плотность тепловыделения; *erf*[u] – известная модифицирована функция интеграла вероятностей.

Представление температурного поля в безразмерном виде позволяет устанавливать общие закономерности его изменения, независимо от конкретных условий обработки, которые учитываются размерным коэффициентом P_o. Параметры, определяющие безразмерное температурное поле (безразмерные координаты и безразмерное время) не зависят от наличия или отсутствия износостойкого покрытия на лезвии инструмента. Следовательно, общий характер изменения температурного поля для инструментов с покрытием будет таким же, как и для инструментов без покрытия.

Безразмерная температура вершины лезвия в зависимости от безразмерного времени F_o определяется при $\psi = 0$, $\zeta = 0$, $\nu = 0$:

$$T(F_o) = \int_0^1 d\psi_u \int_{-\eta}^{\eta} d\zeta_u \left(1 - erf\left[\sqrt{\psi_u^2 + \zeta_u^2} \Big/ 2\sqrt{F_o}\right]\right) \Big/ \sqrt{\psi_u^2 + \zeta_u^2}. \qquad (2)$$

Для учета особенностей формирования тепловых потоков при неустановившемся теплообмене в безразмерные функции, определяющие нагрев площадок на передней и задней поверхностях лезвия инструмента вводится функция $m(F_o) = T(F_o)$.

Прерывистый процесс резания при торцевом фрезеровании характеризуется наличием рабочих ходов длительностью t_p, которые чередуются с холостыми ходами длительностью t_x и в сумме определяют длительность цикла $t_o = t_p + t_x$. В период рабочего хода происходит нагрев инструмента, описываемый следующей зависимостью $T_H(F_o) = T(F_o)$. В период холостого хода в отсутствии нагрева происходит охлаждение режущих кромок за счет отвода тепла из зоны резания вглубь лезвия. Процесс охлаждения в этом случае описывается следующим образом:

$$\Theta_O(F_o) = \Theta(\infty) exp[-0.04F_o]; \quad T_O = T(\infty) exp[-0.04F_o], \qquad (3)$$

где $\Theta(\infty)$, $T(\infty)$ – абсолютная и безразмерная температуры при установившемся теплообмене.

Циклический процесс изменения во времени безразмерной температуры вершины лезвия инструмента при прерывистом резании может быть описан следующим образом:

$$T(\tau) = \begin{cases} T_{Hi}(\tau), при\ t_o(i-1) \le \tau \le (t_p + t_o i), \ i = 1,2.....n \\ T_{Oi}(\tau), при\ (t_p + t_o(i-1)) \le \tau \le t_o i \end{cases}; \qquad (4)$$

$$T_{Hi}(\tau) = \int_0^1 d\psi_u \int_{-\eta}^{\eta} d\zeta_u \left(1 - erf\left[\sqrt{\psi_u^2 + \zeta_u^u} \Big/ 2\sqrt{\omega_o(\tau - (t_p + x_{i-1}))}\right]\right) \Big/ \sqrt{\psi_u^2 + \zeta_u^2};$$

$$T_{Oi}(\tau) = T_{ни}(t_p + x_{i-1}) exp[-0.04\omega_o(\tau - t_p)]; \qquad \Delta t_{i-1} = 0,$$

где $\omega_o = \omega / l^2$; x_i - период времени, корректирующий начало отсчета температуры нагрева $T_{H(i+1)}(t_p + t_{oi} + x_i)$ в каждом последующем цикле с учетом охлаждения в предыдущем $T_{Oi}(t_{oi})$.

Для каждого цикла x_i рассчитывается численными методами как корень уравнения:

$$T(x_i) = T(\tau_p + x_{i-1})exp[-0{,}04(\tau_x)]. \quad (5)$$

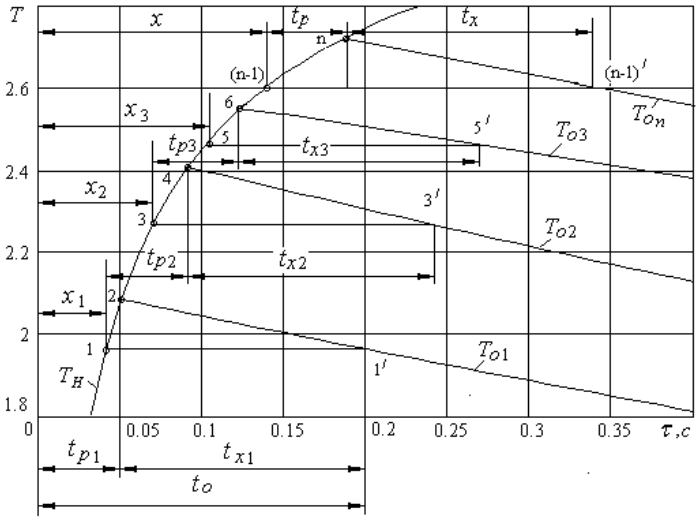


Рис. 1. Схема для расчета основных параметров процесса теплообмена при фрезеровании

Схема для расчета основных параметров неустановившегося процесса теплообмена при фрезеровании представлена на рис. 1. На протяжении первого рабочего хода t_{p1} наблюдается рост температуры до точки 2 на кривой нагрева T_H, а затем на протяжении холостого хода t_{x1} происходит охлаждение до точки 1′ на кривой охлаждения T_{O1}. В следующем цикле нагрев в период рабочего хода t_{p2} происходит от точки 1 до точки 4 на кривой нагрева T_H, в период холостого хода t_{x2} происходит охлаждение до точки 3′ на кривой охлаждения T_{O2}. Следующий цикл начинается в точке 3, нагрев на протяжении рабочего хода t_{p3} происходит до точки 6 на кривой нагрева T_H, охлаждение после холостого хода t_{x3} заканчивается в точке 5′ на кривой охлаждения T_{O3}.

В последующих циклах нагрев и охлаждение многократно повторяются, в некоторый момент времени они уравновешиваются, процесс может считаться установившимся для такого значения x, которое обеспечивает одинаковое повышение температуры в течение рабочего хода и ее уменьшения при охлаждении в течение холостого хода. Значение x рассчитывается численным методом как корень уравнения:

$$T(x) = T(\tau_p + x)exp[-0{,}04(\tau_x)]. \quad (6)$$

Безразмерные максимальная T_{max}, минимальная T_{min}, а также средняя T_{cp} температуры цикла прерывистого процесса фрезерования в условиях установившегося резания могут быть определены:

$$T_{max} = T(x + \tau_p),\ T_{min} = T(x),\ T_{cp} = T(x + \tau_p/2). \quad (7)$$

Температура резания при фрезеровании T_{cp} в условиях установившегося теплообмена ниже, чем температура T при непрерывном резании за счет охлаждения в периоды холостого хода. Коэффициент снижения температур резания K_T при прерывистом резании (фрезеровании) в сравнении с непрерывным резанием (рис. 2):

$$K_T = T(x + \tau_p/2)/T(500). \quad (8)$$

Установленный коэффициент позволяет выполнять расчеты температур резания при фрезеровании по методике расчета температур для непрерывного резания, с последующей корректировкой полученного результата с помощью коэффициента K_T.

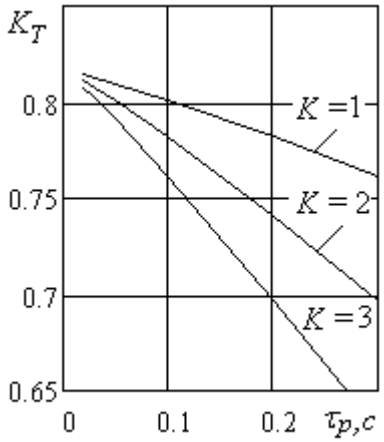


Рис. 3. Графики зависимости коэффициентов снижения температур резания при фрезеровании от длительности рабочего хода τ_p

$$\Theta = \frac{K_T\left[q_1 l\left(M_1 l + N_1 h\right) + q_2 h\left(M_2 h + N_1 l\right)\right]}{\left(l + h\right)\lambda}, \qquad (9)$$

где q_1 и q_2 - плотности тепловых потоков на передней и задней поверхностях лезвия инструмента; h - износ по задней поверхности; M_1, M_2, N_1, N_2 - безразмерные функции, определяющие нагрев площадок на передней и задней поверхностях лезвия инструмента.

Установленные закономерности изменения температуры непрерывного резания [5] для инструментов с износостойкими покрытиями могут быть применены к исследованию температур при фрезеровании. При наличии износостойкого покрытия температуры уменьшаются. Коэффициенты снижения температуры в зоне непрерывного резания K_{TC} составляют для инструментов с покрытиями из карбида титана TiC – K_{TC} = 0,95; с покрытиями из нитрида титана TiN –K_{TC} = 0,85. Тогда температура резания при фрезеровании инструментами с покрытиями определится с учетом этих коэффициентов:

$$\Theta_C = \frac{K_T K_{TC}\left[q_1 l\left(M_1 l + N_1 h\right) + q_2 h\left(M_2 h + N_1 l\right)\right]}{\left(l + h\right)\lambda}. \qquad (10)$$

Таким образом, усовершенствована методика расчета тепловых потоков и температур резания при фрезеровании торцовыми фрезами с износостойкими покрытиями.

Список литературы: 1. Табаков, В. П. Работоспособность торцовых фрез с многослойными износостойкими покрытиями / В. П. Табаков, М. Ю. Смирнов, А. В. Циркин. - Ульяновск : УлГТУ, 2005. - 152 с. **2.** Ивченко, Т. Г. Исследование тепловых потоков и температур резания при обработке инструментами с износостойкими покрытиями / Т. Г. Івченко, И. А. Петряева // Прогрессивные технологии и системы машиностроения. – Донецк: ДонНТУ. - 2015. - №1 (51). – С. 84-89. **3**. Ивченко, Т. Г. Исследование тепловых потоков и температур в зоне резания при неустановившемся теплообмене / Т. Г. Івченко, И. А. Петряева, Е. В. Полякова // Надійність інструменту та оптимізація технологічних систем. – Краматорськ : ДДМА, 2011. - № 28. - С. 280-283. **4**. Івченко, Т. Г. Дослідження впливу параметрів механічної обробки на температуру різання під час фрезерування / Т. Г. Івченко // Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія: Машинобудування і машинознавство. - Донецк : ДонНТУ. - 2012. - № 9(205). – С. 23-29. **5.** Івченко, Т. Г. Удосконалення методики аналітичного розрахунку температури різання під час торцевого фрезерування / Т. Г. Івченко // Прогрессивные технологии и системы машиностроения:– Донецк: ДонНТУ. - 2015. № 3(49). – С. 78-84.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ТОРМОЖЕНИЯ ПОДВЕСНОЙ МОНОРЕЛЬСОВОЙ ДОРОГИ

Игнаткина ЕЛ., Гутаревич В.О., Кондратенко М.П.
(ДонНТУ, г. Донецк, ДНР, Украина)
Тел./Факс: +38 (062) 3050104; E-mail: gztl@fimm.donntu.org

Abstract: *the regularities of the braking process of the rolling stock are established to reduce the dynamic loads that are formed during the stop of the suspended monorail. The mathematical model of the movement of rolling stock on a monorail was developed. It is a system of solids interconnected by elastic and dissipative bonds. The mathematical model is represented by a system of differential equations, the numerical solution of which was obtained by the Runge-Kutta method. Theoretical studies of the process of braking of rolling stock, which carries a large-sized cargo, are carried out. The limits of the direction and speed of the components of the suspended monorail are determined. It is established that the longitudinal dynamic forces in couplers can exceed the value of the applied braking forces by more than 1.7 times. The deviations occurring during the braking of the cargo being transported vary with respect to the vertical within the range of up to 0.3 rad.*
Key words: *monorail, rolling stock, load, mathematical model, speed, brake.*

Эффективность функционирования подвесных монорельсовых дорог (ПМД) в большой степени обусловлена параметрами подвижного состава и монорельсового пути. Эксплуатационные характеристики (силы тяги и торможения, динамическая нагрузка на подвижной состав и монорельсовый путь, устойчивость и безопасность движения) в значительной мере зависят от системы торможения, являющейся наименее долговечным узлом ПМД. Во время торможения подвижного состава возникают переходные процессы, которые приводят к дополнительным динамическим нагрузкам, воздействующим на монорельсовый путь и другие элементы ПМД.

Исследованиям динамики передвижения грузоподъемных кранов посвящено ряд работ [1-6]. Однако существенные конструктивные отличия ПМД от грузоподъемных кранов не позволяют в полной мере использовать ранее полученные результаты. Вопросы обоснования параметров торможения ПМД приведены в статье [7]. Исследование динамических процессов, формирующихся во время движения подвижного состава по подвесному монорельсу, рассмотрены в работах [8-10]. Настоящая статья является продолжением указанных исследований.

Цель работы заключается в установлении закономерностей процесса торможения подвижного состава для снижения динамических нагрузок, формирующихся во время эксплуатации ПМД.

Расчетная схема продольных колебаний подвижного состава во время торможения представлена на рис.1. На этой схеме обозначено: $m_1, m_6 -$ приведенные массы тормозных тележек; $m_2, m_5 -$ приведенные массы тяговых тележек; m_3 и $m_4 -$ приведенные массы ходовых тележек и перевозимой грузовой единицы; $x_1, x_2, \dots x_6 -$ координаты перемещений центров тяжести соответствующих масс $m_1, m_2, \dots m_6$; $h -$ высота подвески, равная расстоянию между центрами тяжести тележки и грузовой единицы; $\psi -$ угол отклонения подвесок грузовой единицы от вертикали, который возникает во время торможения; $c_{12}, c_{23}, c_{35}, c_{56}$ и $b_{12}, b_{23}, b_{35}, b_{56} -$ приведенные коэффициенты жесткости и коэффициенты вязкого трения сцепок, соединяемых между собой тележек, соответственно.

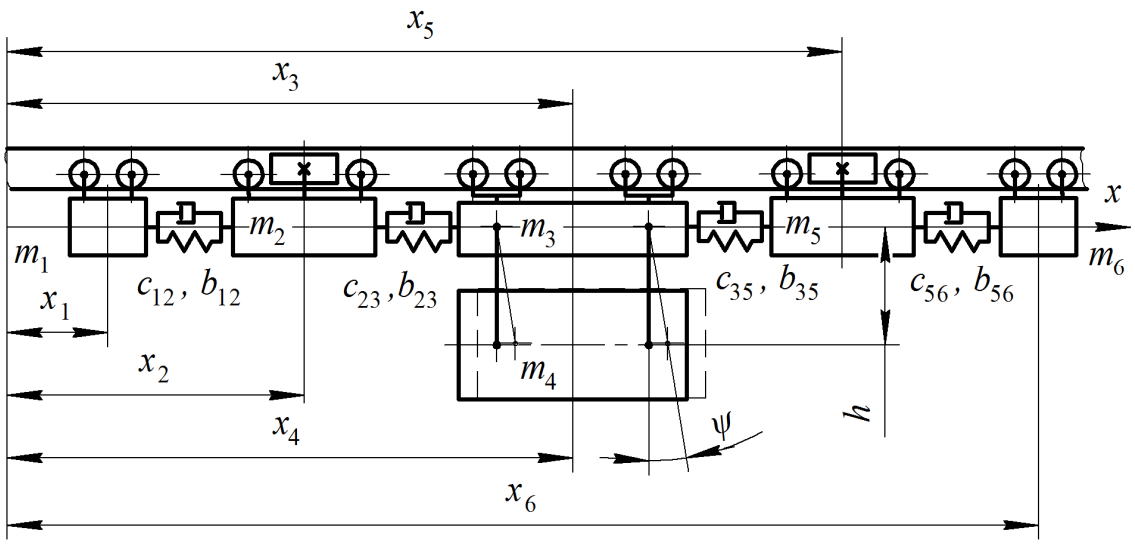


Рис. 1. Расчетная схема продольных колебаний подвижного состава во время торможения

Движение подвижного состава описывается системой дифференциальных уравнений:

$$\begin{cases} m_1\ddot{x}_1 + T_1(t) + c_{12}(x_1 - x_2) + b_{12}(\dot{x}_1 - \dot{x}_2) + m_1 g\omega' \operatorname{sing}\dot{x}_1 = 0; \\ m_2\ddot{x}_2 + T_2(t) - c_{12}(x_1 - x_2) - b_{12}(\dot{x}_1 - \dot{x}_2) + c_{23}(x_2 - x_3) + b_{23}(\dot{x}_2 - \dot{x}_3) + \\ + m_2 g\omega' \operatorname{sing}\dot{x}_2 = 0; \\ m_3\ddot{x}_3 + T_3(t) - c_{23}(x_2 - x_3) - b_{23}(\dot{x}_2 - \dot{x}_3) + c_{35}(x_3 - x_5) + b_{35}(\dot{x}_3 - \dot{x}_5) + \\ + m_4 g(x_3 - x_4)/h + (m_3 + m_4) g\omega' \operatorname{sing}\dot{x}_3 = 0; \\ \ddot{x}_4 - g(x_3 - x_4)/h = 0; \\ m_5\ddot{x}_5 + T_5(t) - c_{35}(x_3 - x_5) - b_{35}(\dot{x}_3 - \dot{x}_5) + c_{56}(x_5 - x_6) + b_{56}(\dot{x}_5 - \dot{x}_6) + \\ + m_5 g\omega' \operatorname{sing}\dot{x}_5 = 0; \\ m_6\ddot{x}_6 + T_6(t) - c_{56}(x_5 - x_6) - b_{56}(\dot{x}_5 - \dot{x}_6) + m_6 g\omega' \operatorname{sing}\dot{x}_6 = 0, \end{cases} \quad (1)$$

где $T_1(t), T_6(t) -$ тормозное усилие, реализуемое тормозными тележками; $T_2(t), T_5(t) -$ тормозное усилие, создаваемое тяговыми тележками; $\omega' -$ коэффициент сопротивления движению тележек подвижного состава по монорельсу.

Значения $T_i(t)$ определяются конструкцией тормозного устройства и главным образом зависят от усилия прижатия тормозных колодок к монорельсу, а также от коэффициента сцепления контактируемых пар и состояния их поверхностей. При этом тормозные усилия не являются постоянными величинами, а изменяются во времени t.

В общем случае тормозное усилие, развиваемое $i -$м устройством монорельсовой дороги во время торможения, можно записать $T_i(t) = T_{\max}\left(1 - e^{-\varepsilon t}\right)$, где $T_{\max} -$ максимальное усилие, развиваемое тормозным устройством; $\varepsilon -$ коэффициент, учитывающий быстродействие тормозного устройства (тележки). Коэффициент ε является обратной величиной к постоянной времени тормозной системы, которая согласно [11] ограничивается временем нарастания тормозного усилия, равным не более 0,4 с. На основании этого следует, что для нормальной эксплуатации ПМД необходимо $\varepsilon \leq 2{,}5$.

Численное решение системы дифференциальных уравнений (1) получено с помощью метода Рунге-Кутты. На рис. 2 показаны графики изменения скорости тележек от времени при торможении подвижного состава, построенные для следующих значений параметров: массы $m_1 = m_6 =$ 0,2 т; $m_2 = m_5 =$ 2,0 т; $m_4 =$ 32,0 т; $m_3 =$ 3,0 т; длина подвеса $h = 1$ м; коэффициент сопротивления движению тележек $\omega' =$ 0,0015 Н/кН. Коэффициент жесткости сцепок принимался равным для всего подвижного состава и составлял 8000 кН/м; а коэффициент демпфирования сцепок – 1,0 кН·с/м. Тормозная сила $T_{\max}$, создаваемая каждой тормозной тележкой составляла 30 кН. Указанные значения приняты на основании параметров существующих ПМД. При этом приведенные на рис. 2*а* зависимости соответствуют начальной скорости движения подвижного состава $V =$ 4 м/с, а на рис. 2*б* – $V =$ 2 м/с.

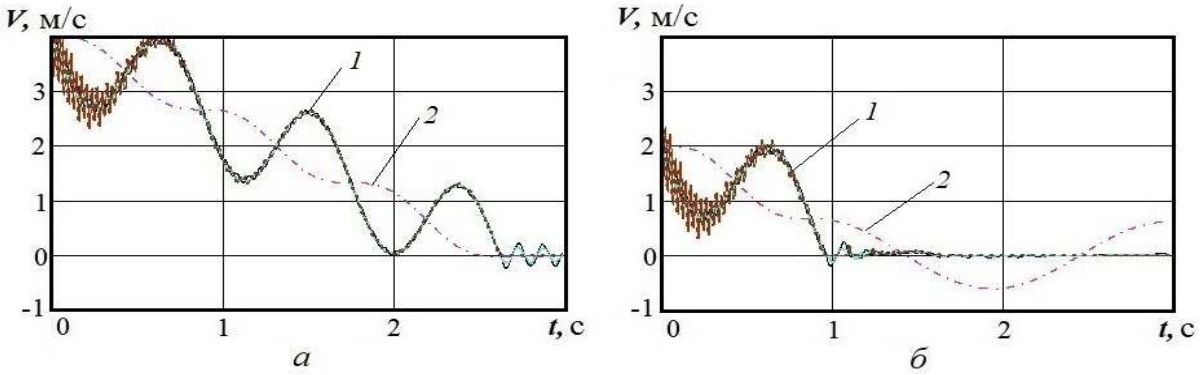


Рис. 2. Результаты моделирования процесса торможения подвижного состава: *1* – для масс $m_1, m_{2,}, m_3, m_5, m_6$; *2* – для массы m_4

Из этих рисунков видна неравномерность движения всех масс во время остановки подвижного состава. Значения скоростей масс $m_1, m_{2,}, m_3, m_5$ и m_6 изменяются практически одинаково, а их мгновенные значения приблизительно равны между собой. Существенное отличие от скоростей масс $m_1, m_{2,}, m_3, m_5$ и m_6 имеет мгновенная скорость массы m_4, относящаяся к перевозимой грузовой единице.

Зависимости продольных усилий $F(t)$, возникающих в сцепках во время торможения подвижного состава при $V =$ 4 м/с, показаны на рис. 3*а*, а при $V =$ 2 м/с – на рис. 3*б*. Указанные усилия определялись по следующим формулам:

$$F_{12}(t) = c_{12}(x_2 - x_1) + b_{12}(\dot{x}_2 - \dot{x}_1);\ F_{23}(t) = c_{23}(x_3 - x_2) + b_{23}(\dot{x}_3 - \dot{x}_2);$$
$$F_{35}(t) = c_{35}(x_5 - x_3) + b_{35}(\dot{x}_5 - \dot{x}_3);\ \ F_{56}(t) = c_{56}(x_6 - x_5) + b_{56}(\dot{x}_6 - \dot{x}_5).$$

Причем усилия $F_{12}(t), F_{56}(t)$ относятся к сцепкам, соединяющим тормозные и тяговые тележки, а $F_{23}(t), F_{35}(t)$ - тяговые и ходовые тележки.

Как следует из рис. 3*а*, для подвижного состава массой 32 т максимальное продольное усилие в сцепках достигает 52 кН и практически в 1,7 раза превышает статически прикладываемые тормозные усилия. При этом набольший угол отклонения подвесок грузовой единицы от вертикали ψ составляет 0,33 рад. Из рис. 3*б* видно, что снижение скорости, соответствующей началу торможения до 2 м/с, позволяет сократить время торможения примерно в 2,5 раза, но практически не влияет на максимальные значения динамических нагрузок в сцепках.

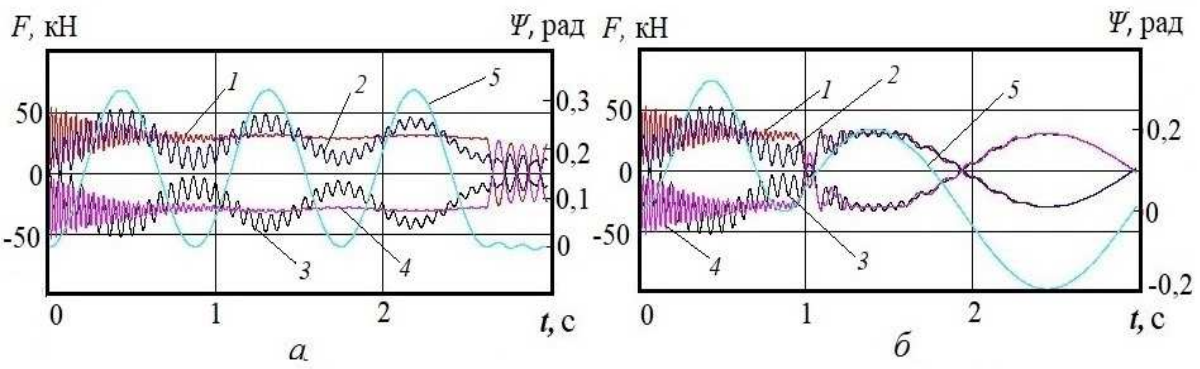


Рис. 3. Изменение зависимостей усилий в сцепках подвижного состава во времени, где: *1* - $F_{12}(t)$; *2* - $F_{23}(t)$; 3 - $F_{35}(t)$; 4 - $F_{56}(t)$; 5 - $\psi(t)$

В результате моделирования процесса торможения подвижного состава можно сделать следующие **выводы**.

Возникающие в сцепках во время остановки подвижного состава массой 32 т продольные динамические силы составляют не менее 52 кН и более чем в 1,7 раза превышают значения прикладываемых тормозных усилий. При этом наибольший угол отклонения подвесок грузовой единицы от вертикали может составлять 0,33 рад.

Разработанная математическая модель торможения подвижного состава позволяет имитировать процесс его остановки и может быть использована для обоснования параметров и режимов работы подвесных монорельсовых дорог.

Список литературы: **1.** Будиков, Л.Я. Многопараметрические исследования динамики мостовых кранов / Л.Я. Будиков. - Луганск: изд-во Луганского ун-та им. В. Даля, 2015. – 235 с. **2.** Лобов, Н.А. Динамика передвижения кранов по рельсовому пути / Н.А. Лобов. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2003. – 232 с. **3.** Казак, С.А. Динамика мостовых кранов / С.А. Казак. - М.: Машиностроение, 1968. – 332 с. **4.** Лагерев, И.А. Моделирование факторов нагруженности металлоконструкции мостового крана на основе сетевой имитационной модели / И.А. Лагерев // Вестник Брянского государственного технического университета. – 2010. – №2. – С. 74-81. **5.** Кобзев, А.П. Критерий минимума суммарных приведенных затрат на многоколесные крановые механизмы передвижения / А.П. Кобзев, Д.А. Зотов // Изв. ТулГУ. Сер. Подъемно-транспортные машины и оборудование. Тула, 2001. Вып. 3. – С. 233-238. **6.** Исаков В.С. Инерционные тормозные устройства на основе замкнутых кинематических контуров / В.С. Исаков. – Ростов на Дону: Изд-во журн. «Изв. Вузов. Сев.-Кавк. Регион», 2005. – 140 с. **7.** Гутаревич, В.О. Обоснование оптимального режима пуска и торможения шахтной подвесной монорельсовой дороги / В.О. Гутаревич, Е.Л. Игнаткина // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – Москва, 2016. – № 9. – С. 29-36. **8.** Gutarevych, V. Research of Regularities of Suspended Mine Monorail Motion / V. Gutarevych // Mechanical Testing and Diagnosis. – 2014. – Vol. 1(IV). – P. 12-17. **9.** Gutarevych, V. A Mathematical Model Study of Suspended Monorail / V. Gutarevych // Transport Problems. – 2012. – Vol. 7(3). - P. 61-66. **10.** Gutarevich, V.O. Mathematical Modeling of End Carriage Motion on the Overhead Monorail / V.O. Gutarevych // Metallurgical and Mining Industry. – 2014. – No.5. – P. 51-55. **11.** Проектування та конструювання транспортних машин та комплексів / В.О. Будішевський [та ін.]; за ред. В. О. Будішеського. – Донецьк: Вебер, Донец. філія, 2009. – 599 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ ТРИБОТЕХНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК МОДИФИЦИРОВАННЫХ ПОКРЫТИЙ В ШИРОКОМ ДИАПАЗОНЕ ДАВЛЕНИЙ И СКОРОСТЕЙ

Кардаполова М.А., Девойно О.Г., Дьяченко О.В., Николаенко В.Л.
(*БНТУ г. Минск, Беларусь)*
Тел./Факс: +375 (0172) 3310045; E-mail: scvdmed@bntu.by

Abstract: *The tribotechnical characteristics of nickel coatings after laser doping with TiN, A1N and BN by a continuous CO_2 laser have been studied. Dependences of the amount of wear on the sliding speed and pressure at the contact point are obtained.*
Key words: *laser processing, regression model, wear, sliding speed, contact pressure*.

Важнейшими характеристиками эксплуатационных свойств применяемых в машиностроительной, нефтяной и других отраслях оборудования являются его надежность, долговечность, ремонтопригодность [1, 2]. Работоспособность оборудования зависит от износа его деталей. Повысить износостойкость никелевых покрытий можно путем лазерного легирования AlN, TiN, и BN непрерывным CO_2- лазером. Данные технологии нанесения покрытий могут применяться как при изготовлении новых деталей, так и при ремонте изношенных деталей [3].

Целью настоящей работы является изучение триботехнических характеристик модифицированных покрытий в широком диапазоне давлений и скоростей.

Методика исследований

Подслой наносился на подготовленную дробеструйной обработкой поверхность образцов из стали 45 прямоугольной формы сечением 10 х 10 и длиной 30 мм, на которые напыляли самофлюсующийся сплав из порошка ПГ-СР3 методом плазменного напыления. Обмазка состояла из модифицирующих добавок TiN, A1N, BN с небольшим количеством связующего (2-%-ный раствор клея «AGO» в ацетоне).

Оплавление проводилось при мощности N = 800 Вт, диаметре лазерного луча d=2,0 мм, скорости его перемещения V= 3,33 мм/с с шагом k=2,0 мм

Для ускоренных сравнительных испытаний материалов на износ при сухом трении использовали машину трения МТ – 1 при линейной скорости вращения истирающего диска V от 1,5 – 4 м/с, давление Р 1,5 – 10 МПа, твердости диска 40 – 45 HRC. Время эксперимента – 300 с.

Для исследования влияния параметров испытания износостойкости (удельного давления и скорости скольжения) на изнашивание лазерно-наплавленных покрытий был использован один из методов математического планирования – метод полного факторного эксперимента [4 – 6]. Так как число варьируемых параметров невелико, оказалось возможным реализовать полную реплику, в которой число опытов равно 2 в степени, равной числу факторов: N = 2k, позволяющую в ходе эксперимента варьировать одновременно несколькими параметрами различной физической природы и получать раздельную, независимую оценку коэффициентов, что невозможно, например, при реализации дробной реплик. При этом необходимо, чтобы все независимые переменные, влияющие на процесс, изменялись на двух уровнях: минимальном и максимальном.

Серия состояла из 4 основных опытов. Полученная модель считалась линейной и учитывала взаимодействие факторов.

$$Y=B_0+B_1X_1+B_2X_2+B_{12}X_1X_2\ , \qquad (1)$$

Yi - параметры оптимизации, *Xi* – варьируемые факторы, *Bij* – коэффициенты регрессии, описывающие направление и степень влияния каждого из факторов на параметры оптимизации.

Для составления таблицы данных (матрицы планирования) определяли пределы изменения основных входных параметров, в качестве которых были приняты технологические параметры лазерной обработки.

X_1 – скорость перемещения образца. X_2 – давление в месте контакта.

В качестве выходных параметров принимаем величину износа в зависимости от скорости скольжения и давления в месте контакта.

Исследование триботехнических характеристик покрытия с AlN

Для расчетов выбираем изменение скорости V от 1,5 – 4 м/с, давление P 1,5 – 10 МПа. Эксперименты в каждой точке выполнялись трижды.

Таблица 1. Исходные экспериментальные данные и расчеты для покрытий с AlN

	код	V	P
I	X max	4	10
	X min	4,5	1,5
	X осн	2,75	5,75
	Δ X	1,53	4,25

	№ опыта	V м/мин	P МПа	Результаты экспериментов			$\overline{P_{yi}}$	S_i^2	$\overline{\overline{P_i}}$	$\left(\overline{P_i} - \overline{\overline{P_i}}\right)^2$
				Py_1	Py_2	Py_3				
II	1	-1	-1	8	9	7	8	1,000	7,995	0,000025
	2	+1	-1	11	13	14	12,7	2,335	12,705	0,000025
	3	-1	+1	14	17	15	15,3	2,335	15,305	0,000025
	4	+1	+1	26	23	24	24,3	2,335	24,315	0,000225
							$\sum$	8,005		0,0003

Составляем аналогичные таблицы исходных экспериментальных данных и расчетов для покрытий после лазерного легирования TiN и BN.

После необходимых преобразований получим следующие уравнения

Для AlN:

$$P = 4{,}331 + 1{,}576\,V + 0{,}5558P + 0{,}202VP \qquad (2)$$

Для TiN:

$$P = 2{,}227 + 1{,}29\,V + 0{,}008P + 0{,}47VP \qquad (3)$$

Для BN:

$$P = 7{,}787 + 1{,}378\,V + 0{,}151P + 0{,}345VP \qquad (4)$$

С помощью данных формул рассчитаем зависимость величины износа от скорости скольжения и давления в месте контакта для трех вышеуказанных покрытий при значениях скоростей скольжения: 0,5; 2; 2,5; 3,5; 4 м/с и давления: 2; 5; 10; 15; 20 МПа.

Расчетные зависимости износа от скорости скольжения и давления в месте контакта для покрытий, содержащих AlN, TiN и BN представлены в таблицах 2 – 4 .

Таблица 2. Зависимость величины износа от скорости скольжения V и давления P в месте контакта для покрытия с AlN

Скорость скольжения, м/с	Величина износа I, мкм				
	Давление, МПа				
	2	5	10	15	20
0,5	6,64	8,41	11,71	15,00	18,30
2	9,41	12,29	17,10	21,91	26,72
2,5	10,40	13,59	18,90	24,22	29,53
3,5	12,38	16,17	22,50	28,82	35,15
4	13,37	17,47	24,30	31,13	37,96

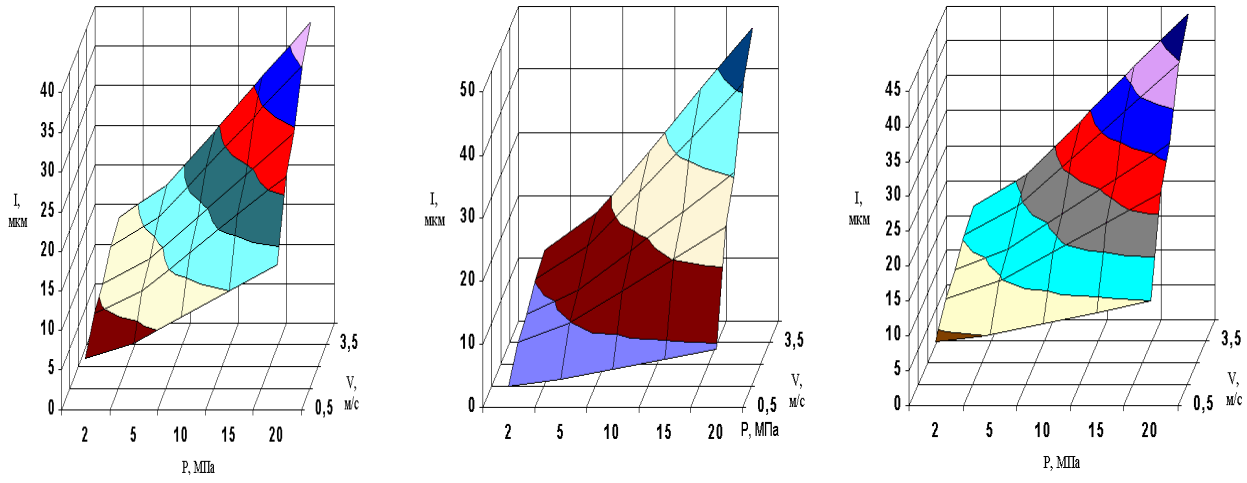
Таблица 3. Зависимость величины износа от скорости скольжения V и давления P в месте контакта для покрытия с TiN

Скорость скольжения, м/с	Величина износа I, мкм				
	Давление, МПа				
	2	5	10	15	20
0,5	3,50	4,45	6,02	7,60	9,17
2	6,85	9,91	15,00	20,11	25,21
2,5	7,96	11,73	18,00	24,28	30,55
3,5	10,19	15,37	23,99	32,62	41,24
4	11,31	17,19	26,99	36,79	46,59

Таблица 4Зависимость величины износа от скорости скольжения и давления в месте контакта для покрытия с BN

Скорость скольжения, м/с	Величина износа I, мкм				
	Давление, МПа				
	2	5	10	15	20
0,5	9,12	10,07	11,69	13,31	14,93
2	12,23	14,77	18,59	23,16	27,36
2,5	13,36	16,30	21,37	26,43	31,50
3,5	15,33	19,40	26,20	32,99	39,78
4	16,36	20,95	28,61	36,26	43,92

Графическая зависимость износа от давления в месте контакта для покрытий, содержащих AlN, TiN и BN представлена на рисунке 1.



а) б) в)

Рис. 1. Поверхность отклика влияния скорости скольжения V и давления P на износ покрытий: а) с AlN, б) с TiN, в) с BN

Предварительные испытания показали, что у покрытия самофлюсующегося сплава ПГ-СР3, оплавленного лазерным излучением без обмазки при испытаниях со скоростями выше 3 м/с и давлениями выше 10 МПа - износ в 2-2,5 раза выше, чем у покрытия с обмазкой и составляет 100…105 мкм. То есть, покрытия из сплава ПГ-СР3, оплавленные без обмазки, можно эксплуатировать при давлениях до 5…6,5 МПа и скоростях скольжения до 2…2,5 м/с.

Из рисунка видно, что с увеличением контактного давления и скорости скольжения величина износа покрытия возрастает: с 6,64 мкм до 37,96 мкм для AlN, с 3,50 мкм до 46,59 мкм для TiN и с 9,12 мкм до 43,92 мкм для BN. При этом кривая износа возрастает постепенно.

Выводы

В результате проведенных экспериментальных исследований и расчетов получено:

1. Можно рекомендовать покрытия с AlN для эксплуатации при высоких скоростей скольжения и контактных давлений.

2. Покрытия с TiN, при давления 2…15 МПа и скоростях не больше 0,5…3,5 м/с.

3. Покрытия с нитридом бора можно рекомендовать для эксплуатации при средних скоростях в пределах 2…3 м/с и давлениях не больше 15 МПа и не меньше 5 МПа.

Список литературы: 1. Исакин И.И. Методы поверхностной лазерной обработки металлов и сплавов, - Ростов-на-Дону: Южный университет, (ИУБиП), №2 (18), - 2016, - С. 49 – 58. **2.** Савватимский А. И., Теплофизические свойства многокомпонентного никель-хромового сплава ВСДП-3 при плавлении и в жидкой фазе / А. И., Онуфриев С. В., Мубояджян С. А., Середкин Н. Н., Конюхов С. А./ ТВТ, 55:5 (2017), С. 846–849. **3**. Григорьянц, А.Г. Технологические процессы лазерной обработки: Учебное пособие для вузов / А.Г. Григорьянц, И.Н. Шиганов, А.И. Мисюров / Под ред. А.Г. Григорьянца–М.: изд. МГТУ им. Н.Э. Баумана. – 2006.– 664 с.**4.** Кузнецова Е.В. Экспериментальная механика / учебно-методическое пособие. – Пермь: Перм. гос. техн. ун-т, 2009. – Пермь: Перм. гос. техн. ун-т, 2011. – 35 с. **5.** Реброва И.А. Планирование эксперимента: учебное пособие. – Омск: СибАДИ, 2010. – 105 с. **6.** Макаричев Ю.А., Иванников Ю.Н. М 30 Методы планирование эксперимента и обработки данных: учеб. пособие / Макаричев Ю.А., Иванников Ю.Н. – Самара: Самар. гос. техн. ун-т, 2016. – 131 с.: ил.

ИССЛЕДОВАНИЕ БИЕНИЯ ТЕЛ ВРАЩЕНИЯ ПРИ ОБРАБОТКЕ ДЕТАЛЕЙ В СЕРИЙНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

Коваленко В.И., Харитонов О.М. *(ДонНТУ, г. Донецк)*
Тел./Факс: +38 (062) 3050104; E-mail: tm@mech.dgtu.donetsk.ua

Abstract: *The article studies the result of measuring the beating of bodies of revolution during processing in serial production. The parts were processed in serial production on preconfigured equipment. The characteristics of the measurements (standard deviation and confidence range of the values) are determined. The reasons for the output of real beat values beyond the tolerance limits are established.*

Key word*: beat, tolerance, deviation, confidence range*

В экспериментальном цехе машиностроительного завода, при обработке деталей тел вращения, выполнено исследование биения наружных и торцевых поверхностей. В качестве объекта исследования приняты детали типа «втулки», у которых соосные цилиндрические поверхности ограничены торцевыми поверхностями.

Втулки обрабатывались на станках, предварительно настроенных на станках с автоматическим получением размеров. Помимо геометрических размеров, необходимо

было выдерживать технические требования по радиальному и торцевому биению наружных и торцевых поверхностей [1-2].

При контроле радиального биения втулки устанавливались на цилиндрическую разжимную оправку приспособления; торцевое биение одного из торцов втулки контролировалось при ее установке на противоположный торец детали. Измерение биений производилось индикатором часового типа с ценой деления 0,01 мм. Результаты полученных измерений заносились в табл. 1.

Таблица 1. (фрагменты). Результаты измерения биения втулок

N п/п	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Диаметр заготовки, мм	52,8	52,8	52,9	52,9	53	52,3	52,9	52,5	22,8	52,9	52,2	52,9
Биение торцевое, мм	0,02	0,03	0,05	0,01	0,02	0,02	0,01	0,03	0,02	0,01	0,02	0,05
Биение радиальное, мм	0,04	0,04	0,06	0,03	0,03	0,08	0,05	0,06	0,03	0,03	0,1	0,1

Продолжение таблицы 1

N п/п	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Диаметр заготовки, мм	52,9	52,9	52,8	52,9	52,6	52,8	52,8	52,9	52,9	52,7	52,7	52,9
Биение торцевое, мм	0,32	0,05	0,01	0,08	0,02	0,02	0,03	0,05	0,06	0,02	0,01	0,02
Биение радиальное, мм	0,13	0,04	0,05	0,02	0,03	0,02	0,04	0,06	0,04	0,04	0,03	0,02

Продолжение таблицы 1

N п/п	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
Диаметр заготовки, мм	52,9	53	52,2	52,9	53	52,5	52,8	52,9	52,8	53	52,3	52,8
Биение торцевое, мм	0,01	0,15	0,02	0,05	0,01	0,03	0,02	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02
Биение радиальное, мм	0,04	0,04	0,1	0,1	0,05	0,06	0,04	0,04	0,02	0,03	0,08	0,02

Была произведена статистическая обработка полученных экспериментальных данных [3-4]. Определив среднее значение и среднее квадратическое отклонение генеральной совокупности, можно (используя вместо числовых характеристик их точечные оценки $\overline{X}$ и S_X) по правилу «трёх сигм» проверить, не являются ли некоторые сомнительные значения x_i ошибочными. Если окажется, что они отличаются от среднего арифметического $\overline{X}$ больше, чем на $3S_X$, то их следует отбросить, так как с доверительной вероятностью 0,9973 эти значения являются грубыми ошибками. После этого рассчитываются окончательные значения $\overline{X}$ и $3S_X$.

Основные статистические характеристики исследуемых параметров обработанных деталей приведены в табл. 2.

Технологическим процессом предусмотрена повторная (при необходимости, многократная) обработка втулок, отбракованных на предшествующей обработке по параметру биения. Была произведена многократная повторная чистовая обработка

втулок до тех пор, пока биение всех обработанных деталей не оказалось в пределах допуска.

Таблица 2. Статистические характеристики исследуемых параметров втулок, мм

Параметры	Среднее арифметическое	Стандартное отклонение, S_X	Половина доверительного интервала, $3S_X$	Доверительный диапазон значений, $\left(\overline{X}-3S_X;\overline{X}+3S_X\right)$
Диаметр заготовки, мм	52,86	0,1371	0,3951	52,47…53,26
Биение торцевое, мм	0,0372	0,03	0,09	0…+0,13
Биение радиальное, мм	0,054	0,0286	0,0859	0…+0,140

Зависимость количества (в процентах) отбракованных деталей от количества последующих обработок точением представлена на рис. 1.

Рис. 1. Зависимость числа отбракованных деталей (в %) от количества последующих обработок точением

Исходные заготовки имели значительные погрешности по параметру торцевого и радиального биения, поэтому после первого чистового точения оказалось много бракованных деталей; были зафиксированы следующие результаты: годных деталей - 44,4%, бракованных - 55,6%.

После анализа результатов статистической обработки были отбракованы детали, величины значений биений которых превышали допустимые, то есть выходящих за пределы доверительного диапазона $\left(\overline{X}-3S_X;\overline{X}+3S_X\right)$. После этого для оставшейся группы деталей была проведена повторная статистическая обработка, результаты которой приведены в табл. 3.

Таблица 3. Статистические характеристики исследуемых параметров втулок (исключая детали, отбракованные после первоначальной чистовой токарной обработки), мм

Параметры	Среднее арифметическое	Стандартное отклонение, S_X	Половина доверительного интервала, $3S_X$	Доверительный диапазон значений, $\left(\overline{X} - 3S_X ; \overline{X} + 3S_X\right)$
Диаметр заготовки, мм	52,87	0,1412	0,4237	52,45…53,29
Биение торцевое, мм	0,0203	0,0192	0,0577	0…+0,078
Биение радиальное, мм	0,051	0,0221	0,0644	0…+0,117

Выводы.

Анализ схемы обработки втулок позволяет предположить возможные причины выхода биения обработанных деталей за пределы допуска.

Такими причинами могут быть следующие: особенности предварительной обработки деталей, которая выполнялась различными производителями; повышенное биение заготовок; неодинаковая твёрдость поверхностей деталей после термообработки; отклонения от круглости наружной поверхности; отклонение формы отверстия заготовки в продольном сечении (предположительно - конусность с меньшим диаметром у базового торца); при обработке некоторых деталей в передней бабке станка возникали посторонние звуки - радиальное биение таких деталей всегда выходило за пределы поля допуска (можно предположить, что в зону зацепления зубчатых колёс попадали абразивные частицы, находящиеся в масле).

Результаты выполненных экспериментальных исследований использованы для последующего более углубленного анализа процесса обработки втулок, в частности, при проведении дисперсионного и корреляционного анализа.

Список литературы: 1. Справочник инженера-технолога в машиностроении / Бабичев Анатолий Прокофьевич [и др.]; А.П. Бабичев, И.М. Чукарина, Т.Н. Рысева, П.Д. Мотренко. - Ростов н/Д : Феникс, 2006. - 541с. **2**. Суслов А.Г. Основы технологии машиностроения: Учебник. - М.: КНОРУС, 2016. - 288 с. - (Бакалавриат). **3**. Гусев А.С. Вероятностные методы в механике машин и конструкций : учебное пособие для вузов / Гусев Александр Сергеевич ; А.С. Гусев ; под ред. В.А. Светлицкого. - М. : Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2009. - 224с. **4**. Кибзун А.И., Горяинова Е.Р., Наумов А.В. Теория вероятностей и математическая статистика. Базовый курс с примерами и задачами. Учеб. пособие. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2007. – 232 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ОКОНЧАТЕЛЬНОЙ АБРАЗИВНОЙ ОБРАБОТКИ ЛЕПЕСТКОВЫМ КРУГОМ ДЕТАЛЕЙ ИЗ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ ПОД СКЛЕИВАНИЕ

Козулько Н. В., Семиниченко К. В. *(ДГТУ, г. Ростов-на-Дону, Россия)*
тел. 909 420 01 50,E-mail: n.kozulko@mail.ru

Abstract: *Article is devoted to development of technological process of final abrasive processing of details of polymeric composite materials with use of the flexible grinding tool. Serves as a research objective: drop of labor input of operation by replacement of manual skills on mechanized, and improvement of quality of the processed surface. The flexible grinding tool offers the method of preparation of surfaces of details from the polymeric composite materials (PCM) under pasting by mechanical abrasive processing. Characteristics of formation of a micro cross-section of surfaces of fiberglass details after processing by the flexible abrasive tool manual and mechanical modes are analysed. Need of mechanization of this operation is revealed and proved. The surface parameters influencing formation of high-quality glue joint are described. Features of a design of the flexible grinding tool and their influence on surface roughness formation are considered.*
Keywords*: abrasive processing, composite materials, granularity of an abradant, petal circle, grinding abrasive paper, microsurface profile.*

Полимерные композиционные материалы (ПКМ) всё чаще встречаются в конструкциях авиационной, космической и автомобильной техники. Операция «склеивание» является одним из распространенных способов соединения деталей из ПКМ. Такое соединение позволяет добиться высокой прочности без повреждений волокон композита, в отличие от резьбовых или клепочных соединений, где предварительно выполняется отверстие для установки крепежа [1]. Для получения качественного клеевого соединения, отвечающего конструкторским и эксплуатационным требованиям, необходимо строго соблюдать все технологические рекомендации по подготовке деталей к склеиванию. Поверхность отформованной детали из ПКМ представляет собой верхний слой композита, состоящий из отвержденного связующего с различными неровностями. Такие соединения и вещества придают поверхности антиадгезионные свойства. Шероховатость поверхности под склеивание должна иметь некоторое оптимальное значение, обеспечивающее при заданных условиях технологии максимальную прочность.

Для удаления антиадгезионного слоя и создания оптимальной шероховатости поверхности детали подвергаются зашкуриванию. На большинстве предприятий по производству изделий из полимеров в качестве инструмента для данной операции применяется шлифовальная шкурка ГОСТ 13344-79, ГОСТ 5009-82 и ГОСТ 10054-82. Обработка производится вручную до удаления глянца. При этом важно не повредить волокна. Существенным недостатком такой обработки деталей из ПКМ является большая трудоемкость операции с применением ручного труда. Во время зашкуривания исполнителю необходимо следить за нажимом на шлифовальный инструмент. При недостаточном нажиме глубина обработки будет небольшой, что приводит к наименьшему смачиванию субстрата клеем.

Итак, рассмотрим задачу снижения трудоемкости и доли ручного труда, при одновременном повышении качества обработанных поверхностей и обеспечении стабильного микропрофиля поверхностей деталей. Работы по изучению соответствующих технологических возможностей и процессов проводились на базе авиационного промышленного предприятия ПАО «Роствертол» г. Ростов-на-Дону, на котором изготавливаются изделия из полимеров для авиационной техники.

Выбор инструмента для механизации процесса зашкуривания деталей из ПКМ.

Для механизации процесса шлифования было принято решение о применении эластичных шлифовальных инструментов, конструкция и свойства которых допускают значительное перемещение зерен во время работы от статического положения в направлении нормальной составляющей силы резания [2]. Это обеспечивает стойкость инструмента, уменьшение напряженности теплового потока, отсутствие микрорастрескиваний поверхностного слоя по сравнению с «жестким» шлифованием [3]. В данной работе рассматриваются детали с малой жесткостью: обшивки, оболочки, колпаки и т. п. Поэтому, как правило, оказывается, целесообразно применить эластичный шлифовальный инструмент.

Большинство производителей инструментов предлагают лепестковые круги с жесткой конструкцией лепестков (обдирочные круги) для обработки металла или древесины. В результате после обработки кругами высокой или средней жесткости происходит разлохмачивание композита с нарушением целостности волокон, что недопустимо согласно техническим условиям.

Эффективность процесса шлифования зависит также от режимов обработки: скорости резания, скорости подачи, удельного давления или радиального перемещения круга. Следует подобрать скорость вращения круга, при которой происходит стабилизация процесса обработки, т. е. под воздействием центробежных и упругих сил шлифовальные лепестки имеют наилучший контакт с обрабатываемой поверхностью. Изменение скорости подачи и удельного давления при шлифовании (изменение расстояния от центра круга до обрабатываемой поверхности в радиальном направлении $r_Д$) также влияет на качество поверхности [2].

Экспериментальные исследования.

Для финишной обработки были изготовлены образцы из ПКМ, которые представляют собой сегмент обшивки лопасти вертолета размером (80×200) мм. Материал образцов — стеклопластик, состоящий из композиции тканого стеклопластикового полотна и сполимеризованного эпоксидного связующего.

После подбора инструмента, для дальнейшего исследования в качестве инструмента был выбран гибкий абразивный лепестковый круг фирмы *Klingspor* модели ММ 630 с рассеченными ламелями (рис. 1).

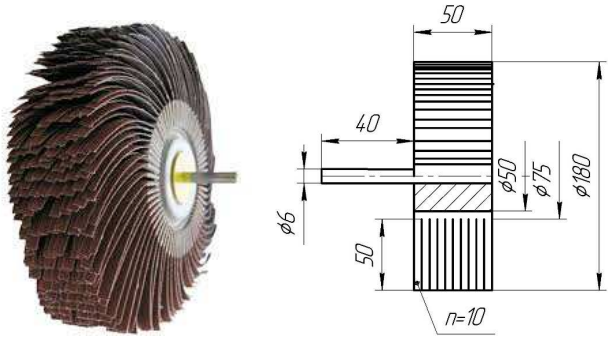


Рис. 1. Лепестковый круг фирмы *Klingspor* модели ММ 630: диаметр — 180 мм; ширина — 50 мм; зерно — электрокорунд; связка — синтетическая смола

Лепестковый круг фирмы *Klingspor* представляет собой шлифовальную оправку, на которой радиально закреплены лепестки шлифовальной шкурки. Каждый лепесток рассечен на 10 равных сегментов (ламелей). Лепестки завернуты в одном направлении. Конструкция лепестков и их крепление на оправку позволяет отнести этот круг к очень эластичному инструменту. Данная модель имеет размер зерна по стандарту FERA (Европейская Федерация Абразивных Производителей) [6]:120, 180, 240.

Для подбора оптимальных режимов обработки круг был установлен в шпиндель фрезерного станка, и с его помощью обработаны образцы из ПКМ. Выбраны диапазоны

частоты вращения (450–1400) об/мин, скорости подачи (100–800) мм/мин. Замеры показателей шероховатости производились на профилометре *Tailor Hobson*.

Учитывая конструкцию и эластичность круга, обработку производили при трех значениях $r_Д$ — 55 мм, 60 мм, 65 мм. Данные значения $r_Д$ приняты с учетом максимальной, средней и минимальной площади контакта лепестков с обрабатываемой поверхностью при выключенном станке. Наилучший результат наблюдается при $r_Д$ — 55 мм.

Образцы, обработанные лепестковым кругом, имеют равномерную, матовую, без глянца поверхность. Нарушений целостности волокон не наблюдается. Значение параметра шероховатости при выбранных режимах обработки *Ra* = 1,22 мкм демонстрируется на типовой профилограмме (рис. 2).

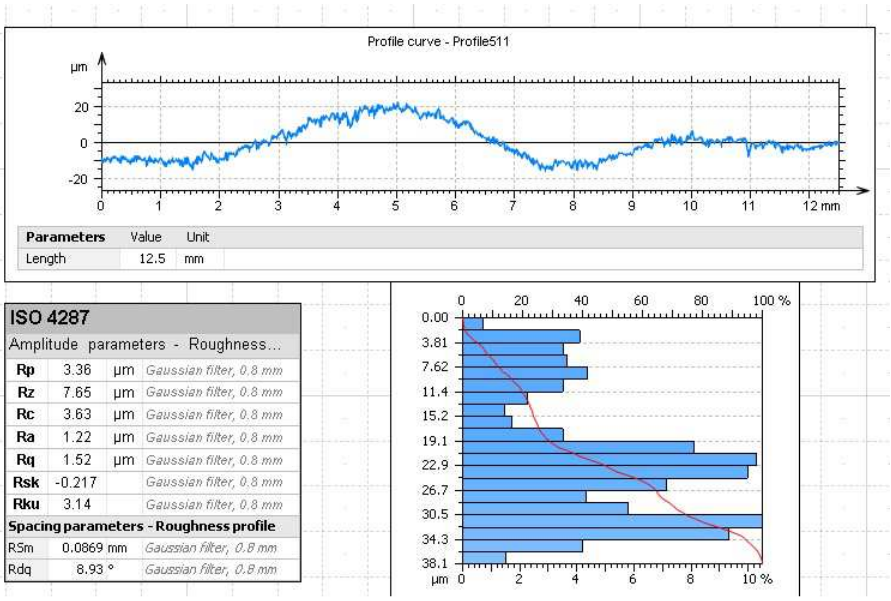


Рис. 2. Профилограмма поверхности, обработанной лепестковым кругом при частоте 1400 об/мин, скорости подачи 315 мм/мин и значениях $r_Д$ = 55 мм

Для подтверждения правильности выбора шлифовального инструмента необходимо сравнить полученные результаты с критериями качественного клеевого соединения. С этой целью было проведено исследование: поверхности образцов до механической обработки, эталонной поверхности образца, применяемого для сравнительного контроля на предприятии, поверхностей после обработки вручную шлифовальной шкуркой № 6 по утвержденной технологии изготовления лопастей.

Математическая модель зависимости профиля шероховатости поверхности деталей из ПКМ от режимов обработки лепестковыми кругами.

Разработав методику расчета установившейся шероховатости для значений исходных данных (технологических факторов) и определения асимптоты экспоненциальной функции $R_a = f(s)$, можно разработать математическую модель изменения значений параметров шероховатости в зависимости от режимов обработки лепестковыми кругами.

Учитывая особенности взаимодействия режущего профиля шлифовального круга и поверхности детали, царапины производят частичный срез материала. Но предположив, что абразивные зерна оставляли бы полные срезы, то сумма ширины всех полных срезов на некотором уровне нормального сечения равнялась бы ширине обрабатываемого участка:

$$\sum_{i=1}^{f_{сеч}} b_i = L_{ед} \quad , \tag{1}$$

где $f_{сеч}$ - количество зерен, оставивших свой след в данном нормальном сечении детали, а вершины всех неровностей в сечении AMCD (рис. 3) располагались бы на одной линии.

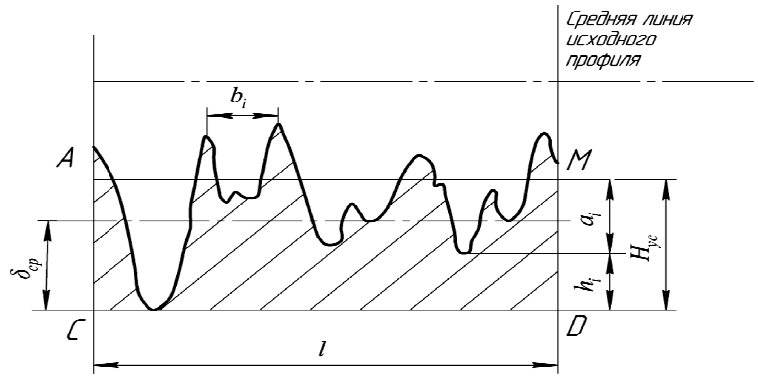


Рис. 3. Схема образования профиля шероховатости поверхности при обработке свободными абразивами

На уровне, где сумма всех частиц, прошедших через данное сечение детали равна ширине обрабатываемого участка, расположена средняя линия между вершинами всех неровностей в данном нормальном сечении. Учитывая то, что величины $f_{сеч}$ и $L_{ед}$ связаны между собой, расчеты будем производить на единице длины нормального сечения детали $L_{ед}$.

Величину $H_{ус}$ определим при условии, что именно на этой высоте выполняется равенство:

$$\text{—} \quad , \text{при} \, 0 \le a_i \le H_0 \, , \tag{2}$$

где n_i - число лунок на уровне l_i от реза наибольшей глубины - a_z;

n_0 - номинальное количество взаимодействующих частиц на квадрат упаковки материала шлифовального лепестка;

H_0 - разность глубин следов;

ε- показатель распределения глубины резов.

Для уровня $H_{ус}$ можно записать:

$$\sum_{i=1}^{f_{сеч}} b_i = \sum_{i=1}^{f_{сеч}} 3{,}8h_i = 3{,}8\sum_{i=1}^{f_{сеч}} h_i = L_{ед} \quad . \tag{3}$$

Исходя из формы единичного следа, оставленным единичным абразивным зерном, найдем глубину царапины h_i в рассматриваемом нормальном сечении детали. Внедрение частицы происходит при предельно малы углах атаки α. Для расчета шероховатости поверхности угол атаки будем принимать до 1°.

Произведение вероятности внедрения частицы $P_{вн}$ на максимально возможную глубину (a_z-a_i) будет равно глубине внедрения частицы h_i. Исходя из геометрической вероятности случайного события, искомая вероятность равна отношению площади, ограниченной продольной траекторией данной частицы при ее внедрении, к площади, ограниченной продольной траекторией движения частицы с максимальной глубиной внедрения[4, 5]:

$$P_{BP} = \frac{L_{cn}(a_z - a_i)}{L_{сл} \cdot a_z} = \frac{a_z - a_i}{a_z},$$

$$h_i = \frac{(a_z - a_i)^2}{a_z};\ h_i = a_z\left(1 - \frac{a_i}{a_z}\right)^2. \quad (4)$$

Тогда сумма глубин всех царапин, оставленных частицами в нормальном сечении АМСД:

$$\sum_{i=1}^{f_{сеч}} h_i = a_z \sum_{i=1}^{n}\left(1 - \frac{a_i}{a_z}\right)^2, \quad (5)$$

где $f_{сеч}$ - общее число всех зерен, контакт которых возможен с данным нормальным сечением детали.

От суммирования можно перейти к интегрированию при достаточно больших значениях $f_{сеч}$ (при прохождении нескольких частиц через данное нормальное сечение детали). Выразим величину a_i через соответствующее число зерен n_i, контакт которых возможен с сечением AMCD на глубине a_i. После преобразований получим:

$$a_z = H_0\left(2\frac{n_i}{n_0}\right)^{\frac{1}{\varepsilon}}, \quad (6)$$

$$\sum_{i=1}^{f_{сеч}}\left(1 - \frac{a_i}{a_z}\right)^2 = \int_0^1\left[1 - \frac{H_0}{a_z}\left(2\frac{n_i}{n_0}\right)^{\frac{1}{\varepsilon}}\right]^2 dn_i. \quad (7)$$

Проведем замену:

$$\frac{H_0}{a_z}\left(2\frac{n_i}{n_0}\right)^{\frac{1}{\varepsilon}} = \xi, \quad (8)$$

где n_0 – число зерен проходящих через единичную длину в единицу времени.

После проведения соответствующих преобразований получим:

$$\sum_{i=1}^{f_{сеч}}\left(1 - \frac{a_i}{a_z}\right)^2 = \varepsilon \cdot f_{сеч}\int_0^1 (1-\xi)\xi^{\varepsilon-1}\,d\xi. \quad (9)$$

Интеграл представляет собой бэта-функцию. Выразив ее через гамма-функцию получим:

$$\sum_{i=1}^{f_{сеч}}\left(1 - \frac{a_i}{a_z}\right)^2 = \varepsilon \cdot f_{сеч}\frac{\Gamma_{(з)}\Gamma_{(к)}}{\Gamma_{(к+з)}} = 2\varepsilon \cdot f_{сеч}\frac{\Gamma_{(к)}}{\Gamma_{(к+з)}}. \quad (10)$$

Подставив полученное выражение в (2.4.5) получим:

$$\sum_{i=1}^{f_{сеч}} h_i = 2 \cdot \varepsilon \cdot f_{сеч} \cdot a_z \frac{\Gamma_{(к)}}{\Gamma_{(к+з)}}, \quad (11)$$

С учетом ранее полученных зависимостей:

$$\sum_{i=1}^{f_{сеч}} b_i = 7{,}6 \cdot \varepsilon \cdot f_{сеч} \cdot a_z \frac{\Gamma_{(к)}}{\Gamma_{(к+з)}} = L_{еф}. \quad (12)$$

При этом, на уровне АМ (рис. 2.1.1) определится $f_{сеч}$ следующим образом:

$$f_{сеч} = 0{,}5 \cdot n_0\left(\frac{H_{ус}}{H_0}\right)^k. \quad (13)$$

Подставив полученное выражение в (2.3.12) получим:

$$3{,}8 \cdot k \cdot n_0\left(\frac{H_{ус}}{H_0}\right)^k \frac{\Gamma_{(2)}}{\Gamma_{(5)}} = L_{еф}. \quad (14)$$

В работе [5] сказано, что значение показателя степени для всех видов абразивной обработки лежит в пределах $1 \le k \le 3$. Сделаем допущения, что при шлифовании лепестковыми кругами можно принять $k=2$.

При этом получим:

$$7{,}6 \cdot n_0\left(\frac{H_{ус}}{H_0}\right)^2 \frac{\Gamma_{(2)}}{\Gamma_{(5)}} \cdot a_z = L_{еф}. \quad (15)$$

После соответствующих преобразований получим зависимость:

$$H_{ус} = H_0\sqrt{\frac{L_{еф}}{0{,}32 \cdot a_z \cdot n_0}}. \quad (16)$$

Тогда зависимости для расчёта условной высоты и среднего арифметического отклонения профиля установившейся шероховатости будут выглядеть следующим образом:

$$H_{yc} = 0{,}58\sqrt{\frac{a_z L_{ed}}{n_0}}\ , \tag{17}$$

$$Ra = 0{,}09\sqrt{\frac{a_z L_{ed}}{n_0}}\ . \tag{18}$$

Величину n_0 определим по зависимости, учитывающей геометрические параметры абразивного материала инструмента и l_ϕ фактическое расстояние между контактными зернами.

$$n_0 = \frac{1}{l_\phi^{\,2}}\ , \tag{19}$$

где, $$l_\phi = 1{,}2D_з \text{ (мм)} \tag{20}$$

при диаметре зерна ($D_з$) абразивного материала инструмента.

Средняя величина среза a_z [8], для обработки лепестковым кругом прямого профиля (ЛКП) определяется из формулы:

$$a_z = 100\frac{t_c \cdot v_S \cdot l_\phi}{60 \cdot v_к \cdot L_к}\ , \tag{21}$$

где t_c – толщина слоя материала, снимаемого за один проход, мм;

l_ϕ – фактическое расстояние между контактными зернами, мм;

$L_к$ - суммарная протяженность лепестков, мм;

v_S – скорость подачи, мм/мин;

$v_к$ – скорость круга, м/с.

При плоском шлифовании лепестковым кругом суммарная протяженность $L_к$ рабочих участков контактирующих лепестков может быть определена из выражения:

$$L_K = \sum_{i=1}^{n_K} l_{Pi} \tag{22}$$

Подставив уравнение a_z (2.1.29) в формулу (2.1.26) и после преобразований, получим формулу для нахождения шероховатости:

$$Ra = 0{,}09\sqrt{100\frac{t_c \cdot v_S \cdot l_\phi \cdot L_{ed}}{60 \cdot v_K \cdot L_K \cdot n_0}} = 0{,}9\sqrt{\frac{t_c \cdot v_S \cdot l_\phi^3 \cdot L_{ed}}{60 \cdot v_K \cdot L_K}} \tag{23}$$

Становится, очевидно, что шероховатость поверхности, обработанной лепестковым кругом, зависит от режимов обработки и геометрических параметров абразивного материала инструмента (размер абразивного зерна). Следует отметить, что значительное влияние оказывает и радиальная нагрузка (деформация круга) на шлифовальный круг δ. Объясняется это тем, что при увеличении δ параллельно с ростом составляющей P_y силы резания, сопровождающимся увеличением съема материала, возрастает суммарная протяженность рабочих участков лепестков L_K .**Анализ полученных результатов.** На подготовительную операцию детали из ПКМ поступают с глянцевой поверхностью и значениями Ra, ниже показателей эталонной обработанной поверхности.

При соблюдении технологического процесса зашкуривание вручную шлифовальной шкуркой № 6 обеспечивает необходимое качество клеевого соединения. Визуальная оценка качества поверхностей образцов, обработанных шлифовальной шкуркой № 6, совпадает с качеством эталонной поверхности. Ориентируясь на показатели обработанных поверхностей, можно сказать, что обработка лепестковыми кругами также дает возможность получить поверхность, удовлетворяющую требованиям

технической документации. Незначительное уменьшение шероховатости при обработке лепестковым кругом, по сравнению с зашкуриванием шлифовальной шкуркой, происходит за счет равномерного распределения радиальной нагрузки в процессе всего времени обработки. Влияние скорости резания, подачи и радиального перемещения круга относительно обрабатываемой поверхности при шлифовании можно проанализировать с учетом данных (рис. 4,5), где представлены зависимости параметров микропрофиля сформированной поверхности от условий резания и сравнивание с математической моделью.

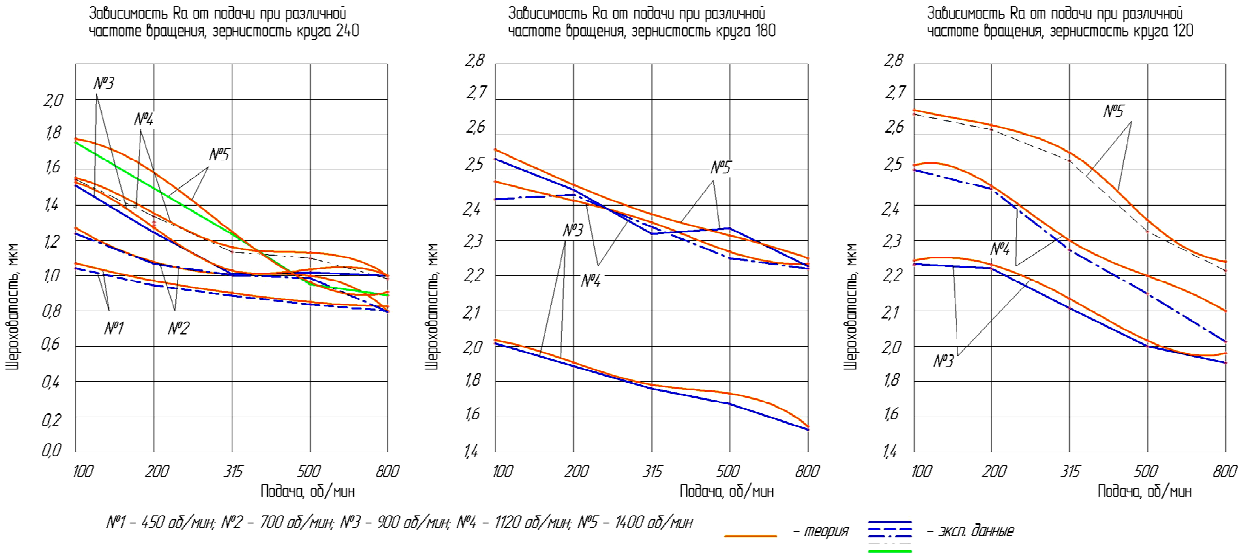


Рис. 4. Шероховатость поверхности деталей из ПКМ в зависимости от подачи лепесткового круга

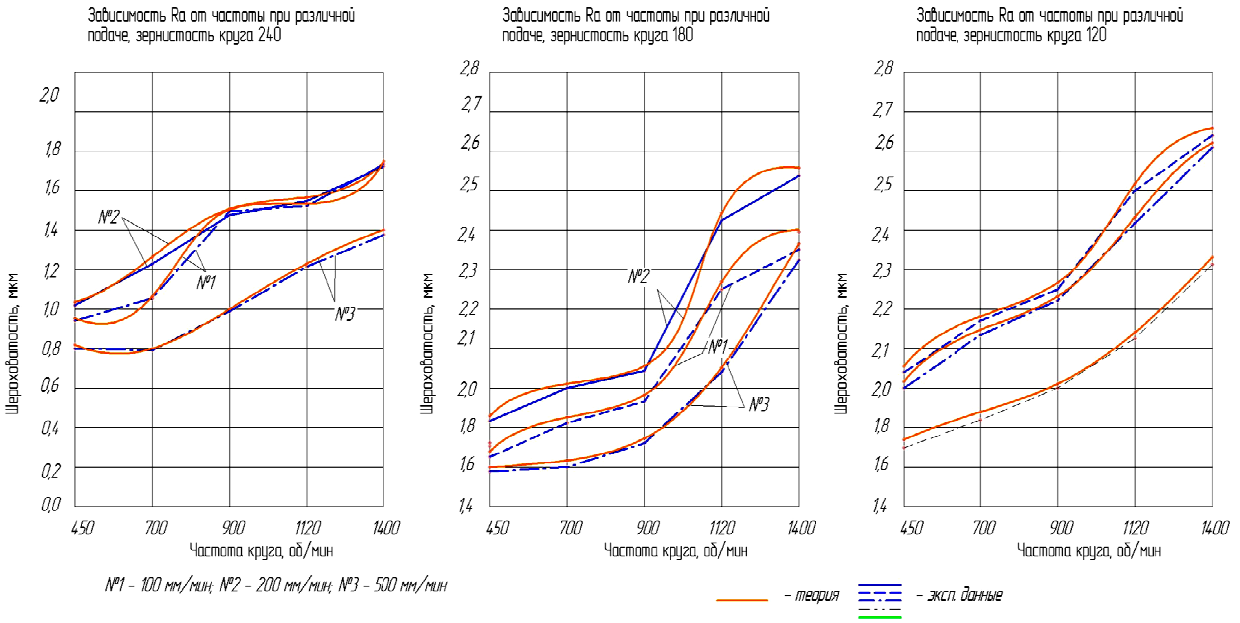


Рис. 5. Шероховатость поверхности деталей из ПКМ в зависимости от частоты лепесткового круга

Данные графиков на рис. 4, 5 демонстрируют следующее:

— при увеличении частоты оборотов шпинделя шероховатость возрастает;

— при увеличении скорости подачи шероховатость уменьшается;

— уменьшение радиального расстояния от центра круга до обрабатываемой поверхности $r_Д$ приводит к увеличению шероховатости;

— меньшее значение шероховатости совпадает с неудовлетворительными показателями состояния поверхности.

Графики (рис. 4, 5), полученные сравнением теоретических и экспериментальных зависимостей, показывают, что значения, рассчитанные по теоретической зависимости, достаточно точно описывают протекание процесса.

Предложенный способ механической обработки, по сравнению с ручным зашкуриванием, позволяет сократить основное время операции примерно на 80 %.

Данный лепестковый круг показал себя как режущий инструмент, пригодный для работы на стационарном оборудовании (станках). Геометрические параметры и конструкция позволяют закрепить его на станке без дополнительной специальной оснастки.

Приведенные результаты исследований позволяют сделать вывод, что для улучшения качественных показателей обрабатываемого поверхностного слоя следует соблюдать определенный диапазон значений окружной скорости круга и скорости подачи.

Выводы

Полученные данные следует учитывать при механизации процесса предварительной подготовки поверхностей деталей из ПКМ к склеиванию. Применение очень эластичного лепесткового круга для данной операции позволит сократить основной цикл обработки без существенных затрат на дополнительную оснастку или оборудование. Установлено, что поверхность, обработанная лепестковым кругом, имеет более равномерную шероховатость поверхности, отсутствуют зоны чрезмерного или недостаточного зашкуривания. Исследования показали, что на формирование микропрофиля поверхности влияют такие факторы, как конструкция инструмента, зернистость шлифовального материала, режимы обработки. Предложенный способ механической обработки существенно сокращает основное время операции по подготовке поверхности под склеивание, что приводит в росту технико-экономических показателей.

Список литературы: 1. Сироткин, О. С. Проектирование, расчет и технология соединения в авиационной технике / О. С. Сироткин, В. И. Гришин, В. Б. Литвинов — Москва: Машиностроение, 2006. — 452 с. **2.** Щеголев, В. А. Эластичные абразивные и алмазные инструменты (теория, конструкция, применение) / В. А. Щеголев, М. Е. Уланова. — Ленинград: Машиностроение, 1977. — 184 с. **3.** Гдалевич, А. И. Финишная обработка лепестковыми кругами / А. И. Гдалевич. — Москва: Машиностроение, 1990. — 112 с. **4.** Королев А.В. Исследование процессов образования поверхностей инструмента и детали при абразивной обработке.-Саратов: Изд-во Саратов. ун-та,1975.-191с. **5.** Тамаркин М.А. Теоретические основы оптимизации процессов обработки деталей свободными абразивами. Дис. докт. техн. наук. Ростов-на-Дону, 1995 г. **6**. Информационные системы / Federation of European Producerc of Abrasives. — Режим доступа: https://www.fepa-abrasives.com/ (дата обращения: 15.04.17).

ПЕРЕМЕЩЕНИЕ ВЕРТИКАЛЬНОГО ТРУБОПРОВОДА ПРИ РАЗЛИЧНЫХ РЕЖИМАХ ДВИЖЕНИЯ ПЛАВСТРЕДСТВА, ПРЕДНАЗНАЧЕННОГО ДЛЯ ДОБЫЧИ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ СО ДНА МИРОВОГО ОКЕАНА

Козыряцкий Л.Н., Шевченко Ф.Л., Моргунов В.М. *(ДонНТУ, г. Донецк, ДНР)*
Тел. +38 (062) 3010724; E-mail: ems@fimm.donntu.org

Abstract: *One of the optimal ways of extracting minerals, in particular ferromanganese nodules, from the bottom of the World Ocean is airlift. When designing an airlift hydraulic lifting of a solid fraction, it is necessary to solve many tasks, including the problems 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 calculation of the trajectory of movement of the lower end of the pipeline is carried out for various modes of motion of the floating craft.*
Key words: *(World Ocean, hydraulic production, airlift, vertical pipeline, moving, floating craft, rigid rod.*

Как показали теоретические и экспериментальные исследования проведенные на кафедре ЭМС ДонНТУ (ДПИ) и ПО «Южморгеология», наиболее перспективным и технически реализуемым способом глубоководной 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].

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 плавстредства для добычи ЖМК со дна Мирового океана [1, 2].

Задача исследования заключалась в том, чтобы 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 показали, что он испытывает практически безмоментное напряженное состояние, как гибкая нить. Рассматривая в равновесии элемент нити с погонной массой m, на который действует горизонтальная 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 с граничными условиями: $y(0, t) = y(t)$ – уравнение движения плавстредства:

$$y_{tt} = \frac{m\xi}{m^*} g((L-x)y_x)_x - \frac{K}{m^*} y^2{}_t,$$

тогда уравнение равновесия концевого груза $Q = Mg$ с коэффициентом сопротивления K_0:

$$y_{tt}(l,t) = \frac{m\xi}{M^*}\ gy_x(l,t) - \frac{K_0}{M^*}\, y^2{}_t(l)\,.$$

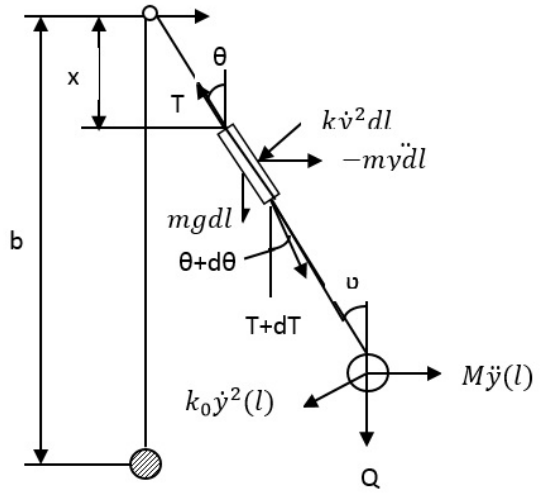


Рис.1. К расчету деформированного трубопровода как гибкой нити

Анализ результатов расчета траектории движения нижнего конца трубопровода при различных режимах движения плавсредства приводят к следующим выводам:

– в начале движения плавстредства 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 плавстредства и не зависит от характера разгона плавстредства;

– отставание нижнего конца трубопровода пропрционально квадрату скорости движения плавстредства с постоянным коэффициентом пропорциональности, зависящий от параметров трубопровода;

– время торможения нижнего конца трубопровода до его полной остановки зависит от характера торможения плавстредства;

– при движении плавстредства по полукруговым траекториям нижний конец трубопровода перемещается по аналогичным траекториям, приближаясь к траекториям пластредста по мере увеличения концевого груза;

– время стабилизации движения нижнего конца трубопровода не зависит от траектории перемещения плавсредства.

Выводы. Выполненные исследования по гидродобычи железомарганцевых конкреций со дна Мирового океана с помощью эрлифтов, а также схему результатов расчета траекторий движения вертикального подъемного трубопровода эрлифта дали основание получить соответствующие уравнения движения этого трубопровода как жесткого стержня, выявлено поведение трубопровода и параметры влияющие на это поведение, определено время торможения трубопровода при некотором постоянном ускорении (замедлении).

Список литературы: 1. Адамов, Б.И. Исследование и разработка глубоководных эрлифтных установок для подъема твердого материала : дисс.кант.техн.наук / Б.И. Адамов. – Донецк: ДПИ, 1982. **2.** Папаяни, Ф.А. Энциклопедия эрлифтов / Ф.А. Папаяни, Л.Н. Козыряцкий, В.С. Пащенко, А.П. Кононенко – М.: Информсвязьиздат, 1995. – 592 с. **3.** Chung, J.S., Dynamik Vertical Stretching Oscillation of an 18000-ft Ocean Mining Pipe / J.S. Chung, A.K. Whithey. – Annual Oftshore Technological Conferense. Dallas, Tex. Houston, May, 1981, N 81, p. 225-234. **4.** Chung, J.S. Nonlinear Transient Motion of Deep ocean Mining Pipe / J.S. Chung, A.K. Whithey. – ASME Transactions Journal of Energy Resources technology, Mart, 1981. **5.** Смолдырев, А.Е. Трубопроводный транспорт. / А.Е. Смолдырев. – М: Недра,1980. – 272с. **6.** Шевченко, Ф.Л. Устойчивость упругих деформируемых систем / Ф.Л. Шевченко. – Донецк: ДПИ, 1986. – 52с. **7.** Бойко, М.Г. Гідромеханізація: навчальний посібник / М.Г. Бойко, В.М. Моргунов, Л.Н. Козиряцький, О.В. Федоров. – Донецьк: ДОННТУ, 2011. – 554с. **8.** Финкельштейн, З.Л. Средства гидромеханизации: учеб. пособ. / З.Л. Финкельштейн, Л.Н. Козыряцкий. – Алчевск: ДОНГТУ, 2013. – 168 с. **9.** Бойко, М.Г., Землесосні і ерліфтно-землесосні снаряди: навч. посіб. / М.Г. Бойко, Л.М. Козиряцький, А.П. Кононенко. – Донецьк: ДОННТУ, 2005. – 436с.

LE PRINCIPE DE LA CONSTRUCTION DE SYSTÈMES DE RÉGULATION LOCALES DES PARAMETRES LEVAGE HYDRAULIQUE

Koziriatsky L., Yatsenko V. *(DonNTU, Donetsk, DPR)*
Tél. +38 (062) 3010724; E-mail: ems@fimm.donntu.org

Abstract: *The principle of local control systems of parameters of hydraulic lift. Substantiated the principles of local control systems of hydraulic lift. It is proved that the main ones are the density and speed (flow) of the slurry in the pipeline. Local level ASCPT (automated control system of technological processes) includes a system for controlling the flow of slurry in the feed pipe.*
Key words: *local system regulation, density, speed, feed tube, the transfer function of the cascade scheme, the transmission coefficient.*

Probléme et sa relation avec les tâches scientifiques et pratiques. Controle des paramètres réels de l'extraction hydraulique peut non seulement évaluer l'état technique de l'appareil, mais aussi de créer un SGAPT au niveau local. Efficacité le diagnostic technique est próuvé par de nombreuses de notre recherche. Sélection des paramètres de diagnostic, comme des études l'ont montré, en grande partie déterminer SGAPT. Particularités l'extraction hydraulique exiger une recherche pour sélectionner les paramètres rationnels nécessaires pour construire des systèmes de régulation locales.

Analyse de la recherche et des publications. L'extraction hydraulique se réfère à la relativement «jeune» technologie de l'industrie. Il existe de nombreux ouvrages sur l'ascenseur hydraulique mien. Ces travaux devraient inclure le travail [1, 2, 3]. Ils sont analysés et ont développé la théorie de transport par pipeline. Dans cet article [1] a développé une théorie de l'installation d'ascenseur de l'air profond pour soulever la matière solide. Toujours dans cette étude, il y avait des tentatives pour créer un des paramètres de contrôle du système local ascenseur hydraulique.

Formulation du problème. La pratique du mond est répandue l'atraction . Le principal avantage de ce qui est infiniment variable de contrôle, la minimisation des processus dynamiques, la possibilité de créer des SGAPT. L'expérience a montré que la défaillance soudaine de la remontée mécanique conduit à des conséquences les plus graves et des pertes économiques importantes. D'où la pertinence de la détermination des paramètres de l'extraction hydraulique et basé sur eux pour créer un SGAPT au niveau local.

Présentation du matériel et des résultats. Les principaux paramètres réglables dans l'optimisation du mode de levage hydraulique sont la densité et la vitesse (débit) pipeline à boues. Le système de contrôle de la densité de niveau local comprend canalisation d'admission et le système d'alimentation pour réguler le débit de la conduite d'alimentation en bouillie.

Schéma fonctionnel du système de régulation de la densité est illustré à la figure 1, le contrôle de flux de circuit - la figure 2. Le système de la densité de régulation comprend un dispositive d'alimentation à vis (V_d), une trémie (T), un réducteur (R), le moteur (M) d'entraînement de la tarière, le thyristor convertisseur de fréquence (TCF), un contrôleur (C) , un capteur de pression différentielle (C_p) monté sur la partie de base de la longueur du pipeline (L_b), les capteurs: le niveau (C_{pn}), le , capteur de la vitesse (C_{pv}), capteur de débit d'eau (C_{pd}), reliée au modèle (M_d) de pertes de référence. Densité (consistance) bouillie dans ce système est mesurée par la pression différentielle de la station de base (L_b). Variantes avec une mesure directe de la densité, par exemple, en utilisant un densitomètre radioactives. La fonction de transfert du système réglé est de la forme:

$$W(p_0) = \frac{K_{0e^{-p^{\tau}}}}{(T_m + 1)(T_{pl}\, p + 1)}, \qquad (1)$$

où K_o, T_m, T_{pl}, τ - respectivement le coefficient de transmission de l'objet, les constantes de temps du moteur et la section de tuyau, le retard dans la vis et le tube.

Pour un objet de fonction de transfert (1) peut être adopté **π**-contrôle avec la fonction de transfert du contrôleur:

$$W(p)_p = K_p(1+\frac{1}{T_{up}}), \quad (2)$$

où K_p, T_u - respectivement le gain et les **π**-regulators de temps intégrale.

Paramètres du contrôleur optimaux sont déterminés par:

$$C_0 = \omega(m^2+1)A_0^{-1}(m,\omega)\sin\ {}_0(m,\omega);$$

$$C_1 = A_0^{-1}(m,\omega)\left\| m\sin\ {}_0(m,\omega) - \cos\ {}_0(m,\omega)\right|, \quad (3)$$

où $C_0 = {}^{K_p}\!/_{T_p}$; $C_1 = K_p$; $A_0(m,\omega)$, ${}_0(m,\omega)$ - est prolongée caractéristiques d'amplitude et de phase de l'objet, m = 022i - le degré de transition de vibration.

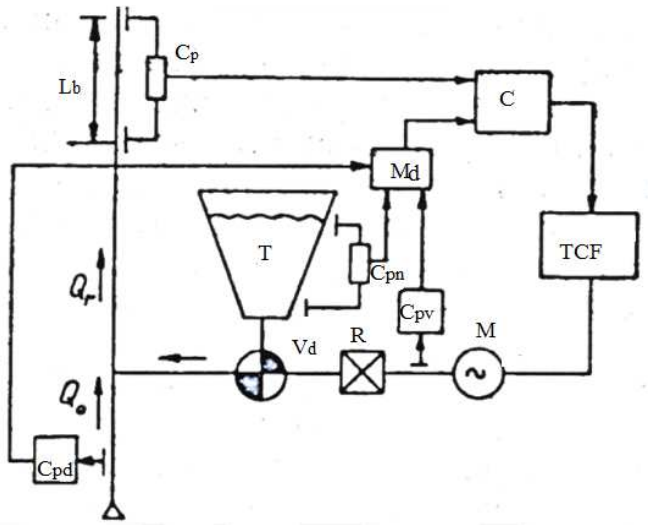


Fig. 1. Schéma de principe du circuit hydraulique pour contrôler la densité

Débit de système de commande (Fig. 2) comprend récepteurs ($R_{éc}$), des stations de compression (SC), le générateur de function (FG), la consommation de normaliser de circuit de régulation de l'air, comprimé stabiliser le flux d'air comprimé ($C_{1)}$, le bouton de réglage (R) de l'écoulement de la suspension, mécanisme d'actionnement (DM), le mélangeur de la pompe à air (MA). Le système (Fig. 2) correspond au principe de régulation en cascade avec la variable contrôlée intermédiaire - consommation d'air comprimé dans le mélangeur.

Analyse des systèmes de contrôle en cascade montre que l'inertie des objets avec retard dans la boucle principale (de stabilisation de la boucle de circulation de l'air) doit utiliser le contrôleur avec la direction P -Droit, et en tant que contrôleur de correction - contrôleur avec π- loi. Calcul du système de cascade de régulation est effectuée de manière séquentielle: d'abord, pour stabiliser la trajectoire d'écoulement de l'air, puis la rémunération à la suspension.

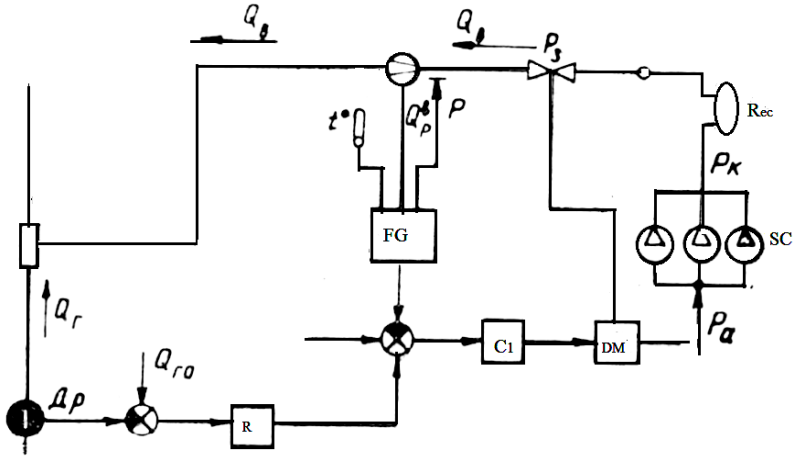


Fig. 2. Schéma de principe du système de contrôle de l'écoulement de la bouillie

Cascade boucle de commande comprend avancé et l'inertie de l'objet. La partie avant se compose de ressivera et conduit inertie - des tubes ressivera, air, levage et d'alimentation. La fonction de transfert de la pointe est:

$$W_{(p)_{op}} = \frac{K_{ob}}{(T_{1p}+1)(T_{2p}+1)}, \quad (4)$$

où K_{ob}, T_1, T_2 − respectivement, le coefficient de transmission de l'objet sur la consommation d'air, les constantes de temps de la canalisation et ressivera.

Lorsque vous sélectionnez la commande de gain exigence de base optimale pour le contrôle de la qualité, tout en maintenant la stabilité du système, il est conseillé de tenir compte de la vitesse à travailler un nouvel emploi. Pour les objets de second ordre sans délai avec un minimum de temps de la première moitié de la période des oscillations amorties, avec 20% de dépassement du gain proportionnel optimal est determine par la formule:

$$K_p^n = \frac{1}{K_{ob}}\left[3{,}4 + 1{,}2\left(\frac{T_1}{T_2} + \frac{T_2}{T_1}\right)\right], \qquad 5)$$

La partie d'inertie de l'objet repose sur les fonctions de transfert du conduit, et soulevez le tuyau d'alimentation est approchée par l'expression:

$$W(p)_{un} = \frac{K_{un}(T_0 p + 1)}{K_p^n K_{ob} + (T_1 p + 1)(T_2 p + 1)(T_3 p + 1)^2 (T_4 p + 1)^3} \qquad (6)$$

où $K_{un} = K_p^n * K_{ob} * K_o * K_d, T_3, T_4$ - les constantes de temps des stations de pompage et des canalisations d'alimentation.

La fonction de transfert du circuit de correction de PI comportement similaire à (2):

$$W(p)_{p^\pi} = K_{p^\pi}(1 + \frac{1}{T_{up}}) \qquad (7)$$

Calcul du circuit optimal de correction des paramètres de réglage faite K_p^π и T_{ui} sur la nouvelle valeur en utilisant les caractéristiques amplitude d'oscillation phase du système en boucle ouverte (CAF):

$$W(j\omega)_p = K_{p^\pi}(1 + \frac{1}{j\omega T_u})W(j\omega)_{un} \qquad (8)$$

Les valeurs limites pour chaque facteur valeurs K_p^π déterminées T_{ui} graphiquement en utilisant l'expression:

$$K_{pi^\pi} = R_{i-1}\big|T_u = T_{ui} \qquad (9)$$

où R_i - rayon du cercle tangent à l' DPC à la valeur de $T_u = T_{ui}$. A l'ensemble des couples (K_{pi}^π, T_{ui}) dans une région de frontière construite paramètres d'avion et des paramètres de commande K_{pi}^π et T_{ui} π-ième dans lequel la réponse en fréquence maximale du système de fermeture ne dépasse pas une valeur prédéterminée. Paramètres de contrôleur optimal dans ce domaine correspond à l'endroit où le rapport K_{pi}^π / T_u est maximisée.

Conclusions et recherches supplémentaires. Contrôle de la densité et de la vitesse (débit) de le mélange dans le pipe-line de l'extraction hydraulique permet de créer au niveau local SGAPT, y compris un système de régulation des paramètres dans le tuyau d'alimentation. Ainsi, il est possible d'évaluer de travail de l'extraction hydraulique (normal-satisfaisante- insatisfaisante)

Source de renseignements: 1. Адамов, Б.И. Исследование и разработка глубоководных эрлифтных установок для подъема твердого материала: автореф. дис. канд. техн. наук (05.05.06) / Адамов Борис Исаевич; Донецкий политехнический институт.-Донецк, 1982.-20с. **2.** Смолдырев, А.Е. Трубопроводный транспорт / А.Е. Смолдырев.- М.: Недра, 1980. - 272с. **3.** Черкасский, В.Н. Насосы, вентиляторы, компрессоры / В.Н. Черкасский. -М.: Энергоатомиздат, 1984. - 414с. **4.** Папаяни, Ф.А. Энциклопедия эрлифтов / Ф.А. Папаяни, Л.Н. Козыряцкий, В.С. Пащенко, А.П. Кононенко – М.: Информсвязьиздат, 1995. – 592 с. **5.** Кононенко, А.П. Опыт применения эрлифтных установок в технологических системах ТЭС / А.П. Кононенко, В.И. Мизерный, Л.Л. Глухман // Енергетика та електрифікація. – 2006. - №11. **6.** Бойко, М.Г. Гідромеханізація: навчальний посібник для ВНЗ / М.Г. Бойко, В.М. Моргунов, Л.М. Козиряцький, О.В. Федоров. – Донецьк: ДОННТУ, 2011. 554с.

ДИАПАЗОНЫ РАЦИОНАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ НАГНЕТАТЕЛЬНОЙ ЭРЛИФТНОЙ УСТАНОВКИ С ЦЕНТРОБЕЖНЫМИ НАГНЕТАТЕЛЯМИ

Кононенко А.П., Божко Р.И. *(ДонНТУ, г. Донецк, ДНР)*
Тел. +38 (062) 3010724; E-mail: ems@fimm.donntu.org, bozhko342@mail.ru

Abstract: *The energetically expedient parameters (the values of the relative immersion of the mixer, the height of the lift and the theoretical ranges of feeds) of pump airlift installations with serially produced centrifugal superchargers and the energy efficiency of such installations are justified.*

Key words: *pump airlift, centrifugal supercharger, mixer immersion depth, lift height, coefficient of efficiency, airlift delivery.*

Широкое использование центробежных (радиальных) нагнетателей для питания сжатым воздухом общепромышленных эрлифтных установок водоотлива и гидроподъема определяется наибольшим соответствием значений давления и производительности нагнетателей, требуемым в рассматриваемых условиях [1, 2].

При эксплуатации эрлифтных установок традиционной конструкции движение жидкости (гидросмеси) по отводящему трубопроводу осуществляется самотеком, что требует обеспечения уклона этого трубопровода в сторону потребителя [3, 4]. Обеспечить движение жидкости по отводящему трубопроводу с восходящим уклоном возможно только при абсолютном давлении в воздухоотделителе, превышающем абсолютное давление у потребителя перекачиваемой жидкости.

Работа эрлифта традиционной технологической схемы (рис. 1, *а*) с избыточным давлением в воздухоотделителе повлечет снижение его энергетической эффективности, так как это эквивалентно увеличению высоты подъема при прочих равных условиях.

При промышленном использовании эрлифтных установок возникают ситуации, когда существуют ограничения по допустимой высоте подъема эрлифта традиционной конструкции из-за ограниченных вертикальных габаритов в месте расположения установки (например, ограничения вертикальными габаритами горных выработок, загроможденностью пространства оборудованием и т.д.), что делает невозможным применение таких установок как средств водоотлива (гидроподъема). В различных отраслях промышленности возникают так же случаи необходимости напорной транспортировки жидкости по горизонтальному или наклонному отводящему трубопроводу.

Увеличить энергоэффективность работы эрлифтной установки с центробежным нагнетателем в качестве источника сжатого воздуха возможно при подаче во всасывающий патрубок нагнетателя воздуха с избыточным давлением, имеющим место в воздухоотделителе. Реализация этого возможна при работе газожидкостного подъемника по принципу нагнетательной эрлифтной установки. Устройство и работа нагнетательной эрлифтной установки изложены в [3].

Выполнен анализ работы эрлифтных установок [5 − 7] в нагнетательном режиме при использовании в их составе пяти центробежных нагнетателей, представляющих все три классификационные группы: ЦНВ 60/1,6; ЦНВ 100/1,6; 360-22-1; ЦНВ 80/3,2; ЦНВ 200/3 производства ОАО «Дальневосточный завод энергетического оборудования», г. Хабаровск, РФ, что обеспечивает расширение области применения эрлифтных установок.

Рассмотрим работу эрлифтной установки в нагнетательном режиме, в качестве примера, с нагнетателем ЦНВ 200/3,0 в диапазоне абсолютных давлений в воздухоотделителе $p_{а\,вз}$ = (1,013÷1,25)·10^5 Па (рис. 2 − 4) в диапазоне относительных погружений смесителя традиционного эрлифта α = (0,15÷0,95) (рис. 4).

Повысив давление в воздухоотделителе до значения $p_{а\,вз} = 1{,}25 \cdot 10^5$ Па, с данным нагнетателем, возможно добиться следующих изменений параметров работы эрлифтной установки (рис. 1):

а) увеличить высоту подъема эрлифта на величину

$$\Delta H_н = \frac{p_{а\,вз} - p_0}{\rho \cdot g}, \qquad (1)$$

которая для конкретных условий будет иметь значение

$$\Delta H_н = \frac{(1{,}25 - 1{,}013) \cdot 10^5}{1000 \cdot 9{,}81} = 2{,}42\,\text{м};$$

б) обеспечить работу центробежного нагнетателя ЦНВ 200/3.0 с параметрами: $p_{а\,н\,макс} = 3{,}77 \cdot 10^5$ Па; $Q_н = 208$ м^3/мин; $\eta_н = 0{,}781$; $\varepsilon_{макс} = 3{,}01$;

в) обеспечить значение геометрического погружения смесителя

$$h_н = \frac{p_{ан.макс} - p_0}{\rho \cdot g} = \frac{(3{,}77 - 1{,}013) \cdot 10^5}{1000 \cdot 9{,}81} = 28{,}1\text{м}. \qquad (2)$$

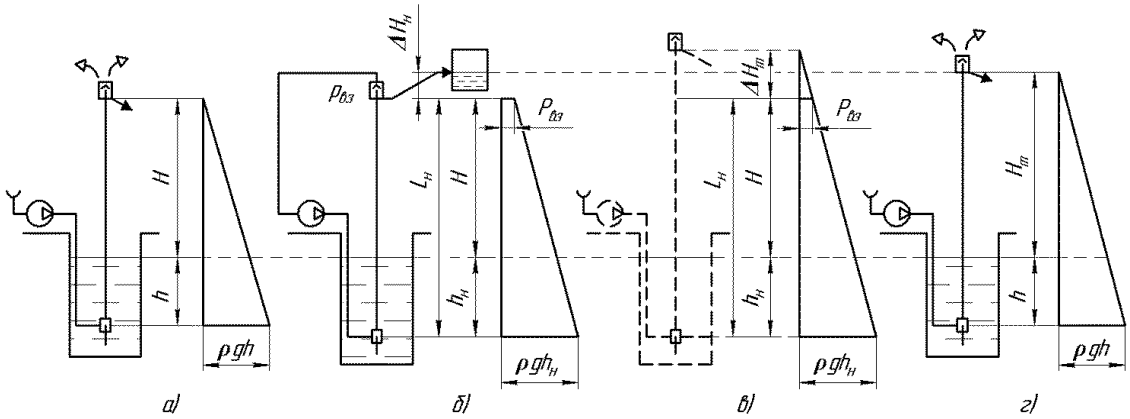


Рис. 1. Эпюры давлений в подъемных трубах эрлифта: *а*) - традиционной технологической схемы; *б)* - нагнетательного эрлифта; *в)* - традиционной схемы с глубиной погружения смесителя, аналогичной нагнетательному (эквивалентная схема); *г)* - эрлифта традиционной схемы с высотой подъема, аналогичной нагнетательному

Зависимости $\overline{H} = f(\overline{p}_{а\,вз})$, $\overline{\eta}_э = f(\overline{p}_{а\,вз})$ и $\overline{\eta}_э = f(\alpha)$ и (рис. 2 − 4) построены при значении абсолютного давления на входе в нагнетатель $p_{а\,вз} = 1{,}25 \cdot 10^5$ Па. При вычислении безразмерных величин $\overline{\eta}_э$ и $\overline{H}$ и $\overline{Q}$, изменение которых показано на (рис. 5) в качестве базовых принимались значения соответствующих параметров работы эрлифтной установки традиционной технологической схемы (рис. 1, *г*) с высотой подъема, аналогичной нагнетательной ($H + \Delta H_н = H_m$).

Выводы

Установлен характер зависимостей и вычислены количественные показатели изменения высоты подъема, и КПД нагнетательного эрлифта с рассматриваемыми центробежными нагнетателями в сравнении с эрлифтом традиционной схемы в диапазоне относительных давлений в воздухоотделителе $\overline{p}_{а\,вз}$ = (1,0÷1,234) при значении взятого в качестве примера относительного погружения нагнетательного эрлифта α = 0,3. Так диапазон увеличения высоты подъема составляет (4,0÷16,5)%, диапазон увеличения КПД эрлифта – (0,960÷17,5)%.

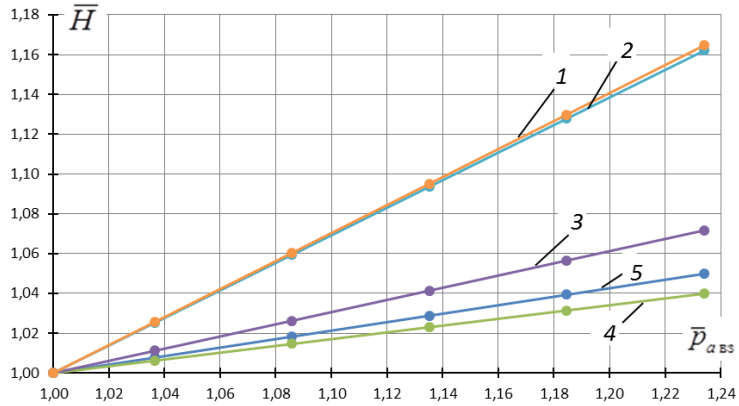


Рис. 2. Отношение высоты подъема нагнетательного и традиционного эрлифта с центробежными нагнетателями (*1* – с ЦНВ 60/1,6; *2* – с ЦНВ 100/1,6; *3* – с 360-22-1; *4* – с ЦНВ 80/3,2; *5* – с ЦНВ 200/3,0) при значении относительного погружения α = 0,3

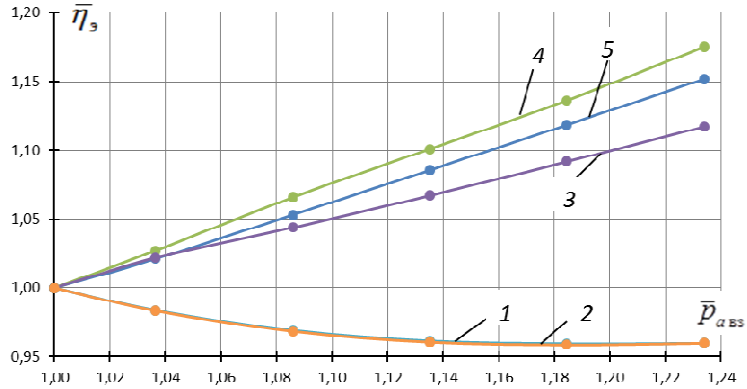


Рис. 3. Отношение КПД нагнетательного и традиционного эрлифта с центробежными нагнетателями (*1* – с ЦНВ 60/1,6; *2* – с ЦНВ 100/1,6; *3* – с 360-22-1; *4* – с ЦНВ 80/3,2; *5* – с ЦНВ 200/3,0) при значении относительного погружения α = 0,3

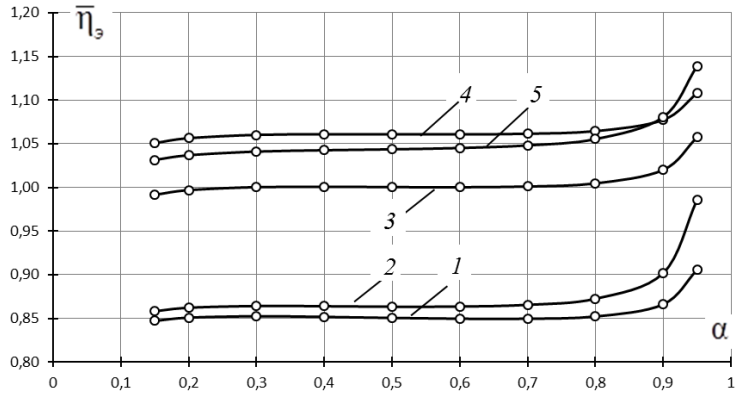


Рис. 4. Отношение КПД нагнетательного и традиционного эрлифта с центробежными нагнетателями (*1* – с ЦНВ 60/1,6; *2* – с ЦНВ 100/1,6; *3* – с 360-22-1; *4* – с ЦНВ 80/3,2; *5* – с ЦНВ 200/3,0) при абсолютном давлении на входе в нагнетатель $p_{a\,вз}$ = $1{,}25 \cdot 10^5$ Па

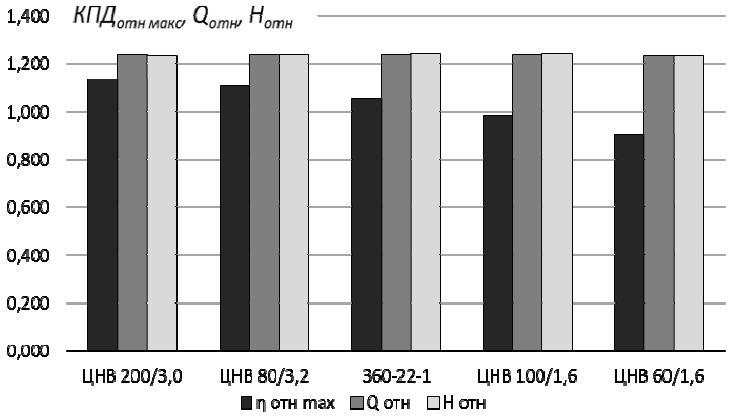


Рис. 5. Диаграммы относительных значений максимального КПД эрлифта $\eta_{отн\ макс}$, относительной подачи эрлифта $Q_{отн}$ и относительной высоты подъема $H_{отн}$ для различных центробежных нагнетателей

В диапазоне абсолютного давления во всасывающем патрубке центробежных нагнетателей $p_{а\ вс}$ = (1,013÷1,250)·10^5 Па максимально возможная степень сжатия $\varepsilon_{макс}$ остается практически постоянной. При этом производительность нагнетателей $Q_н$, в данных условиях увеличивается на 23,0%.

Доказано, что в сравнении с эрлифтной установкой традиционной технологической схемы работа нагнетательной эрлифтной установки с приведенным рядом нагнетателей, в указанном диапазоне абсолютных давлений во всасывающем патрубке и диапазоне относительных погружений смесителя эрлифта α = (0,15÷0,95) обеспечивает увеличение высоты подъема жидкости (гидросмеси) до 24,4%, увеличение подачи эрлифта до 23,6% при при практически неизменной энергоэффективности эрлифта.

Список литературы: 1. Кононенко, А.П. Подача эрлифтов с блочным воздухоснабжения центробежными нагнетателями / А.П. Кононенко, В.В. Чернюк, М.Ю. Карпушин // Наукові праці Донецького національного технічного університету: серія гірничо-електромеханічна. – 2012. – Випуск 23(196). – С.110-123. **2.** Карпушин, М.Ю. Теоретические диапазоны возможных подач эрлифтов с блочным воздухоснабжением центробежными нагнетателями / А.П. Кононенко, В.В. Чернюк, М.Ю. Карпушин // Наукові праці ДонНТУ. Серія гірничо-електромеханічна. – Вип. 22 (195). -2011.– С. 116-134. **3.** Божко, Р.И. Обоснование энергетической целесообразности применения нагнетательных эрлифтных установок с радиальными нагнетателями / А.П. Кононенко, Р.И. Божко // Международный научно-технический журнал "Вестник Донецкого национального технического университета". Серия А - "Естественные науки". - 2017. - № 1(7), – С. 11-19. **4.** Божко, Р.И. Области применения нагнетательных эрлифтных установок с радиальными нагнетателями / А.П. Кононенко, Р.И. Божко // Научный журнал «Современное промышленное и гражданское строительство». Том 14, №1, 2018 .– С. 29-37. **5.** Папаяни, Ф.А. Энциклопедия эрлифтов / Ф.А. Папаяни, Л.Н. Козыряцкий, В.С. Пащенко, А.П. Кононенко – М.: Информсвязьиздат, 1995. – 592 с. **6.** Кононенко, А.П. Опыт применения эрлифтных установок в технологических системах ТЭС / А.П. Кононенко, В.И. Мизерный, Л.Л. Глухман // Енергетика та електрифікація. – 2006. – № 11. – С. 8-12. **7.** Кононенко, А.П. Оптимизация параметров газожидкостных подъемников /А.П. Кононенко, Т.А. Устименко // Промислова гідравліка і пневматика. – 2010. - № 3 (29). – С. 51-53.

ВОЗМОЖНОСТИ И ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ИСКУССТВЕННЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ДИНАМИКИ РОТОРНЫХ СИСТЕМ

Корнаев Н.В., Савин Л.А., Корнаев А.В., Корнаева Е.П. *(Орловский государственный университет имени И.С.Тургенева, 302020, г. Орёл, Российская Федерация)*
Email: rusnkor@bk.ru, rusakor@inbox.ru, savin@ostu.ru, lenoks_box@mail.ru

Abstract: *Provides a brief overview of the formation of the theory artificial neural networks. Principles of their structural composition are presented. Methods for the neural networks training commonly used for different levels of intellectual control of mechatronic systems are formulated and substantiated. Neuron networks approaches to typical problems function approximation, associative behavior, and optimization are stated.*
Key words: *neural networks, artificial intelligence, mechatronics, rotor system, prediction, associative memory, behavior, management.*

1. Введение

Понятие «искусственные нейронные сети», сформировалось в 1940-х годах в основополагающих работах Маккаллога и Питтса [1, 6], которые показали, что сети, состоящие из искусственных нейронов, способны к вычислению любой арифметической или логической функции. В 1949 г. Дональд Хебб [2] предположил, что традиционный условный рефлекс, открытый российским ученым И. П. Павловым, возникает вследствие способности отдельных нейронов к установлению ассоциаций, и сформулировал соответствующее правило обучения биологических нейронов. Первое практическое приложение искусственных нейронных сетей относится к концу 1950-х годов и связано с изобретением Розенблаттом перцептрона и соответствующего правила его обучения [3]. Розенблатт и его коллеги построили простейший перцептрон и продемонстрировали его способность к тренировке и решению простейших задач классификации и частично кластеризации. Этот первый успех вызвал волну интереса к исследованию нейронных сетей и приблизительно в то же время Видров и Хофф [6] предложили другой обучающий алгоритм, который удачно моделировался и подходил для настройки адаптивных линейных нейронных сетей, что позволяет применять его и в наше время. Однослойные сети Розенблатта и Видрова имеют сходные ограничения, сужающие их область применения, что и было выявлено в книге Минского и Пайперта [6]. После выхода в свет этой книги, Розенблатт и Видров разработали многослойные сети, свободные от выявленных недостатков [8, 6, 20]. Однако, Розенблатту и Видрову не удалось модернизировать свои обучающие алгоритмы так, чтобы эти более сложные сети можно было автоматически настраивать.

Следующий решающий этап в развитии искусственных нейросетей это алгоритм обратного распространения для настройки многослойных сетей, который был открыт в 1980-х независимо несколькими различными исследователями. Наиболее популярной по алгоритму обратного распространения оказалась вышедшая в 1986 г. статья Рюмельхарта и МакКлеланда [1, 6]. Этот алгоритм позволил преодолеть множество критических замечаний и с тех пор нейронные сети нашли много приложений.

По существу, на данном этапе развития технологии построения многослойная нейронная сеть представляет собой вычислительную среду параллельного действия с адаптацией на параметрическом, алгоритмическом и структурном уровне управляемых процессов. Такая среда имеет много потенциальных возможностей. Многие задачи, для решения которых используются нейронные сети, могут рассматриваться как частные случаи следующих основных проблем: классификация объектов, аппроксимация

функции по конечному набору её значений, оптимизация, построение отношений на множестве объектов, смысловой поиск информации и ассоциативная память, фильтрация, сжатие информации, управление динамическими системами, нейросетевая реализация алгоритмов вычислительной математики.

На сегодняшний день интенсивно развиваются методы и средства применения алгоритмов нейронных сетей, которые на основании имеющихся знаний об объекте исследования позволяют строить аппроксимационные мнофакторные модели связи входных и выходных величин.

Целью данной работы является изучение, тестирование, а также подборка основного концепта для построения нейросетевого программного модуля расчета задач нелинейной динамики роторно-опорных систем в области мехатроники.

2. Основные понятия

Не вдаваясь в подробности технической реализации искусственных нейронов, приведём формальное определение. Искусственный нейрон — устройство, обеспечивающее вычисление функции

$$a = f \cdot (W_p + b), \tag{1}$$

где a — скалярный выход нейрона, W — весовая (1 x n)-матрица-строка, b — скаляр, называемый смещением, f — функция активации, скаляр

$$z = W_p + b \tag{2}$$

— чистый вход (дискриминантная функция) нейрона. В аппаратном исполнении функцию чистого входа вычисляет адаптивный сумматор [4].

Указанные элементы образуют основной стандарт нейроинформатики. Вместе с тем существует много дополнений и вариаций. Например, в качестве чистого входа может применяться квадратичная функция.

Искусственный нейрон имитирует в первом приближении свойства биологического нейрона. На вход искусственного нейрона поступает некоторое множество сигналов, каждый из которых является выходом другого нейрона. Каждый вход умножается на соответствующий вес, аналогичный синоптической силе, и все произведения суммируются, определяя уровень активации нейрона. На (рис. 1) представлена модель, реализующая эту идею.

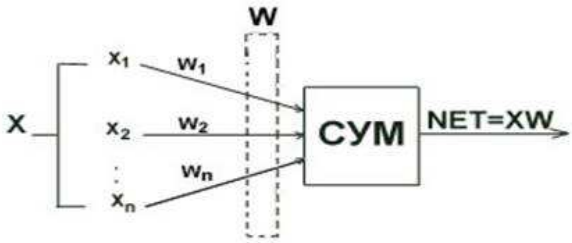


Рис.1. Искусственный нейрон

Хотя сетевые парадигмы весьма разнообразны, в основе почти всех их лежит эта конфигурация. Здесь множество входных сигналов, обозначенных x1, x2, x3...xn, поступает на искусственный нейрон. Эти входные сигналы, в совокупности обозначаемые вектором X, соответствуют сигналам, приходящим в синапсы биологического нейрона. Каждый сигнал умножается на соответствующий вес w_1 , w_2 , w_3 ...w_n , и поступает на суммирующий блок, обозначенный СУМ. Каждый вес соответствует "силе" одной биологической синоптической связи. (Множество весов в совокупности обозначается вектором W). Суммирующий блок, соответствующий телу биологического элемента, складывает взвешенные входы алгебраически, создавая

выход, который мы будем называть NET [4].

Сигнал NET далее, как правило, преобразуется активационной функцией F и дает выходной нейронный сигнал OUT . Активационная функция может быть обычной линейной функцией:

$$OUT = K \cdot (NET), \tag{3}$$

где K –постоянная, пороговой функцией $OUT = 1$,если $NET > T$, $OUT = 0$ в остальных случаях, где T – некоторая постоянная пороговая величина, или же функцией более точно моделирующей нелинейную передаточную характеристику биологического нейрона и представляющей нейронной сети большие возможности. На (рис. 2) блок, обозначенный F , принимает сигнал NET и выдает сигнал OUT.

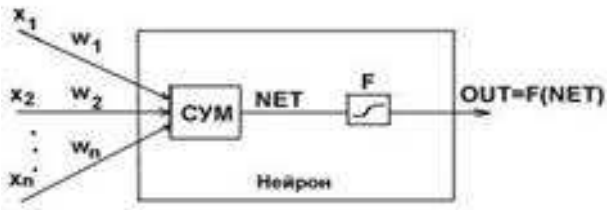


Рис.2. Нейрон с активационной функцией

Если блок F сужает диапазон изменения величины NET так, что при любых значениях NET значения OUT принадлежат некоторому конечному интервалу, то F называется сжимающей функцией. В качестве сжимающей функции часто используется логистическая или сигмоидальная (S-образная) функции. [6]

По аналогии с электронными системами активационную функцию можно считать нелинейной усилительной характеристикой искусственного нейрона. Коэффициент усиления вычисляется как отношение приращения величины OUT к вызвавшему его небольшому приращению величины NET.

Он выражается наклоном кривой при определенном уровне возбуждения и изменяется от малых значений при больших отрицательных возбуждениях (кривая почти горизонтальна) до максимального значения при нулевом возбуждении и снова уменьшается, когда возбуждение становится большим положительным. Гроссберг (1973) обнаружил, что подобная нелинейная характеристика решает поставленную им дилемму шумового насыщения. Каким образом одна и та же сеть может обрабатывать как слабые, так и сильные сигналы? Слабые сигналы нуждаются в большом сетевом усилении, чтобы дать пригодный к использованию выходной сигнал. Однако усилительные каскады с большими коэффициентами усиления могут привести к насыщению выхода шумами усилителей (случайными флуктуациями), которые присутствуют в любой физически реализованной сети. Сильные входные сигналы в свою очередь также будут приводить к насыщению усилительных каскадов, исключая возможность полезного использования выхода. Центральная область логистической функции, имеющая большой коэффициент усиления, решает проблему обработки слабых сигналов, в то время как в области с падающим усилением на положительном и отрицательном концах подходят для больших возбуждений. Таким образом, нейрон функционирует с большим усилением в широком диапазоне уровня входного сигнала.

Рассмотренная простая модель искусственного нейрона игнорирует многие свойства своего биологического двойника. Например, она не принимает во внимание задержки во времени, которые воздействуют на динамику системы. Входные сигналы сразу же порождают выходной сигнал. И что более важно, она не учитывает воздействий функции частотной модуляции или синхронизирующей функции

биологического нейрона, которые ряд исследователей считают решающими. Несмотря на эти ограничения, сети, построенные из этих нейронов, обнаруживают свойства, сильно напоминающие биологическую систему. Только время и исследования смогут ответить на вопрос, являются ли подобные совпадения случайными или следствием того, что в модели верно схвачены важнейшие черты биологического нейрона.

Для построения нейронной сети решения задач нелинейной динамики роторно-опорных систем в области мехатроники необходимо подборка и изучение существующих классификаций нейронных сетей:

· По типу входной информации: Аналоговые нейронные сети (используют информацию в форме действительных чисел); Двоичные нейронные сети (оперируют с информацией, представленной в двоичном виде).

· По характеру обучения: С учителем (выходное пространство решений нейронной сети известно); Без учителя (нейронная сеть формирует выходное пространство решений только на основе входных воздействий). Такие сети называют самоорганизующимися; С критиком (система назначения штрафов и поощрений).

· По характеру настройки синапсов: Сети с фиксированными связями (весовые коэффициенты нейронной сети выбираются сразу, исходя из условий задачи, при этом: $dW/dt = 0$, где W — весовые коэффициенты сети); сети с динамическими связями (для них в процессе обучения происходит настройка синоптических связей, то есть $dW/dt \neq 0$, где W — весовые коэффициенты сети).

· По характеру связей: Сети прямого распространения (Feedforward). Все связи направлены строго от входных нейронов к выходным; Рекуррентные сети. Сигнал с выходных нейронов или нейронов скрытого слоя частично передается обратно на входы нейронов входного слоя. Как любая система, имеющая обратную связь, рекуррентная сеть стремится к устойчивому состоянию. Как известно, наиболее устойчивое состояние обеспечивается минимизацией энергии системы. Рекуррентная сеть «фильтрует» входные данные, возвращаясь к устойчивому состоянию и, таким образом, позволяет решать задачи компрессии данных и построения ассоциативной памяти; Двунаправленные сети. В таких сетях между слоями существуют связи как в направлении от входного слоя к выходному, так и в обратном; Самоорганизующиеся карты. Такие сети представляют собой, как правило, двумерную структуру нейронов. Перед обучением структура случайна, нейроны распределены примерно равномерно. При обучении, для каждой обучающей записи рассчитывается точка, которая соответствует ей в структуре сети. Нейрон, находящийся ближе всего к искомой точке, называется нейроном победителем. Веса связей, соединяющих этот нейрон с другими, увеличивается, тем самым несколько упорядочивая структуру. Веса от нейронов, являющихся «соседями» нейрона победителя, к другим нейронам также увеличиваются, но слабее и т. д. Таким образом, чем чаще нейрон подпадает при сравнении с признаком, тем «плотнее» к нему находятся другие нейроны. В конце обучения сеть представляет из себя несколько зон сосредоточения нейронов, называемых кластерами [3].

3. Преимущества нейронных сетей в области расчета динамики роторных систем

Круг задач, для решения которых используются нейронные сети, во многом совпадает с задачами, решаемыми традиционными статистическими методами. Поэтому укажем преимущества нейросетей перед несколькими классическими методами статистики.

По сравнению с линейными методами статистики (линейная регрессия, авторегрессия, линейный дискриминант), нейронные сети позволяют эффективно строить нелинейные зависимости, более точно описывающие наборы данных. Из

нелинейных методов классической статистики распространен, пожалуй, только байесовский классификатор, строящий квадратичную разделяющую поверхность − нейронная сеть же может построить поверхность более высокого порядка. Высокая нелинейность разделяющей поверхности байесовского классификатора (он не использует ковариационные матрицы классов, как классический байес, а анализирует локальные плотности вероятности) требует значительного суммарного числа примеров для возможности оценивания вероятностей при каждом сочетании интервалов значений переменных − нейронная сеть же обучается на всей выборке данных, не фрагментируя её, что повышает адекватность настройки нейронной сети.

При построении нелинейных моделей (например, полиномиальных) в статистических программах обычно требуется ручное введение-описание модели в символьном виде с точностью до значений параметров: при N=10 независимых переменных полином второй степени будет содержать по формуле (4):

$$N \cdot (N-1) \cdot \frac{1}{2} = 45\,, \tag{4}$$

где 45 − число коэффициентов при попарных произведениях переменных, 10 − при самих переменных, 10 − при квадратах значений переменных, т.е. 65 (66 с учетом неоднородного слагаемого) коэффициентов. При двадцати переменных в выражение войдет уже 231 слагаемое. Вводить такие длинные формулы долго, велик риск опечатки. Нейронная сеть же создается путем указания вида структуры, числа слоев и числа нейронов в каждом слое, что гораздо быстрее, а алгоритмы построения растущих нейросетей и вовсе не требуют первоначального задания размера нейронной сети. Альтернативой нейронной сети при построении сложных нелинейных моделей является только метод группового учета аргументов [1, 3, 6].

По сравнению с методами непараметрической статистики, нейронная сеть с радиальными базисными функциями позволяет сокращать число ядер, оптимизировать координаты и размытость каждого ядра. Это позволяет при сохранении парадигмы локальной ядерной аппроксимации ускорять дальнейший процесс принятия решения.

При обучении нейронной сети вместо критерия качества в виде наименьших квадратов можно использовать робастные критерии, дополнительно вести оптимизацию и других свойств нейронной сети (например, добавляя критерии регуляризации решения или оптимизации структуры нейронной сети). Алгоритмы обучения нейронной сети при этом остаются неизменными.

Необходимость решения прямой и обратной задач обычно требует построения двух моделей. При использовании же нейронных сетей можно обойтись одной сетью, обученной решать прямую задачу.

По сравнению с линейными методами статистики (линейная регрессия, авторегрессия, линейный дискриминант), нейронные сети позволяют эффективно строить нелинейные зависимости, более точно описывающие наборы данных.

4. Подборка структуры сети для построения программного модуля

В ходе изучения типов нейронных сетей и способов их построения, сделаны выводы, что наиболее подходящая сеть для реализации подхода расчета динамики ротора является двухслойная прямая сеть с сигмоидными скрытыми нейронами и линейными выходными нейронами, которая может хорошо подойти к задачам многомерного отображения, учитывая непротиворечивые данные и достаточное количество нейронов в своем скрытом слое (N_{hid}).

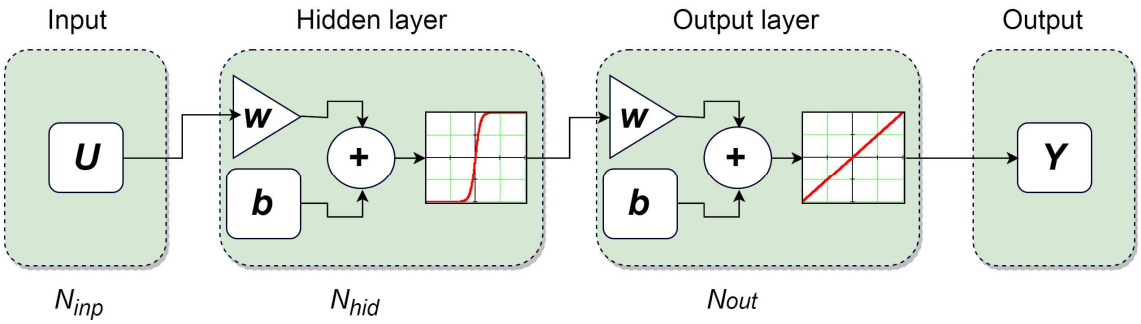


Рис. 3: Схема искусственной нейронной сети.

Для конструирования сети используются следующие параметры (рис. 3): количество входных данных N_{inp}, число выходных нейронов N_{out}, число нейронов в скрытой сети N_{hid}, функция активации в скрытым слое, линейная функция активации в выходном слое, оптимальное число обучающих циклов 1000, сразу же можно обратить внимание, что время генерации сети сильно зависит от количества нейронов в скрытом слое и набора данных для обучения.

$$tansig(n) = \frac{2}{(1+\exp(-2n))} - 1. \tag{5}$$

Нейронная сеть прямого распространения состоит из одного из скрытого уровня между входными данными и выходным уровнем, как показано на рис. 3. Функциональность сети определяется путем формирования устойчивых связей, называемых весами (w), и функции активации нейронов. Входные данные распределяется в первый скрытый слой. Вводимые данные затем распространяются вперед по сети, и каждый нейрон вычисляет свой выходной сигнал в соответствии с уравнением (6).

$$Y_f = f\left(\sum_{i=1}^{N_{hid}} w_i \cdot u_{fi}\right), \tag{6}$$

где Y_f – выходной сигнал при прямом прохождении, f – функция активации, u_{fi} – i-ый входной сигнал, w_i -ый синоптический вес.

При обратном распространении сигнала поведение нейрона определяется поведением его составных элементов, в общем случае выходной сигнал определяется выражением (7).

$$Y_{b,i} = x_b f'\left(\sum_{i=1}^{N_{hid}} w_i \cdot u_{fi}\right) w_i, \tag{7}$$

где $Y_{b,i}$ – i-ый выходной сигнал сети при обратном распространении, x_b – входной сигнал сети при обратном распространении.

Критерием качества обучения служит величина среднеквадратичной ошибки между массивами расчетных и эталонных данных. Ошибка вычисляется как разница между выходными и полученными данными. Алгоритм стремится к среднему значению суммы этих ошибок путем корректировки весов и смещений нейронной сети. Функция среднеквадратической ошибки (MSE) может быть выражена через следующее соотношение (8)

$$MSE = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^{N_{out}} \sum_{q=1}^{N} (Y_k^q - \tilde{Y}_k^q)^2 \Rightarrow min\,. \quad (8)$$

Большая часть методов обучения итерационные. Параметрам сети (весовым коэффициентам и пороговым уровням) присваиваются случайные малые начальные значения. Затем параметры изменяются так, чтобы ошибка MSE убывала. Изменения продолжаются до тех пор, пока ошибка не станет достаточно малой.

Массивы исходных данных разбиваются на три составляющие для обучения проверки и тестирования в долях. Процедура настройки весов и смещений проводится автоматически в прикладном пакете программ. Критерием качества обучения служит величина среднеквадратичной ошибки между массивами расчетных и эталонных данных. По результатам обучения среднеквадратичная ошибка, когда она перестаёт уменьшаться. Обученная нейронная сеть успешно может быть преобразована в программный код на языке GNU-Octave и использована в дальнейшем в качестве модуля расчета параметров для различных задач динамики.

5. Заключение

Мехатронные и роторные системы синтезируют механическую часть, способную совершать активные действия, и электронное оборудование, управляющее системой в целом. В данной работе в простейшей форме представлены принципы работы структуры из искусственных нейронов, позволяющих за счёт распараллеливания вычислений существенно ускорить решение типичных вычислительных задач, возникающих при выработке управления, а также придать различным роторным системам некоторые полезные для автономной деятельности свойства искусственного интеллекта [6]. Также представлена методика построения нейросетевого программного модуля. Элементы пространства признаков формируются из показаний сенсоров. Обработка этих показаний также есть типичная задача для нейроподобных структур, способных параллельно препарировать информацию на большом поле и осуществлять наилучшим способом её кодирование и декодирование при передаче более высоким уровням обработки. Для систем управления конкретными мехатронными системами методы решения указанных задач, приведённые в настоящей работе, могут быть реализованы существующими в настоящее время специализированными программными или программно-аппаратными комплексами.

Работа подготовлена в рамках выполнения проекта РНФ №16-19-00186. Авторы выражают благодарность за оказанную поддержку.

Список литературы: 1. Ю. В. Гуляева, А. И. Галушкина. Нейрокомпьютеры в системах обработки сигналов. Кн. 9 / Под ред. Ю. В. Гуляева, А. И. Галушкина. — М.: Радиотехника, 2003. **2.** А. И. Галушкина, Я. З. Цыпкина. Нейронные сети: история развития теории. Кн. 5: Учеб. пособие для вузов / Под общей ред. А. И. Галушкина, Я. З. Цыпкина. — М: ИПРЖР, 2001. **3.** С. Омату, М. Халид. Нейроуправление и его приложения / Под ред. А. И. Галушкина, В. А. Птичкина. — М.: ИПРЖР, 2000. **4.** Ф. Розенблатт. Принципы нейродинамики. Перцептрон и теория механизмов мозга. — М.: Мир, 1965. **5.** В. А. Терехов, Д. В. Ефимов, И. Ю. Тюкин. Нейросетевые системы управления. Кн. 8: Учеб. пособие для вузов / Общ. ред. А. И. Галушкина. — М: ИПРЖР, 2002. **6.** Yu. F. Golubev, Neuron networks in mechatronics, Fundamentalnaya i prikladnaya matematika, vol. 11 (2005), no. 8, pp. 81—103. **7.** J. A. Anderson A simple neural network generating an interactive memory // Math.Biosci. — 1972. — Vol. 14. — P. 197—220.

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ ПОСТАНОВКА ТЕПЛОВЫХ ЗАДАЧ О ТЕЧЕНИИ ЖИДКОСТЕЙ В ТОНКИХ КАНАЛАХ ГИДРОМЕХАНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Корнаев А.В., Корнаева Е.П. *(ОГУ имени И.С. Тургенева, г. Орёл, Россия)*
Тел.: +7-953-478-15-91; E-mail: rusakor@inbox.ru

Abstract: *the theory of statement of thermal problems on the flow of viscous incompressible media in thin channels of hydromechanical systems is considered. Technical applications are fluid friction bearings and non-contact hydrodynamic seals of rotary machines. A review is made of the existing approaches to solving thermal problems in the hydrodynamic theory of lubrication. A variant is proposed for writing the heat balance equation in bicylindrical coordinates with allowance for the small thickness of the fluid film.*
Key words: *rotor machines, journal bearing, fluid-film, heat transfer, energy equation, curvilinear coordinates.*

Аннотация: в работе рассмотрена проблема постановки тепловых задач о течении вязких несжимаемых сред в тонких каналах гидромеханических систем. Техническим приложением являются подшипники жидкостного трения и бесконтактные гидродинамические уплотнения роторных машин. Сделан обзор существующих подходов решения тепловых задач в гидродинамической теории смазки. Предложен вариант записи уравнения баланса тепла в бицилиндрических координатах с учетом малой толщины жидкости.

Ключевые слова: роторные машины, подшипники жидкостного трения, тонкая пленка жидкости, теплопередача, уравнение баланса тепла, криволинейные координаты.

Тепловые эффекты в исследовании течений в тонких каналах бесконтактных сопряжений опор роторных машин исследовались наряду с гидродинамическими с начального этапа формирования теории гидродинамической смазки. Н.П. Петров в экспериментах на вагонных подшипниках обращал большое внимание на тепловые процессы [1, 2]. Теоретической базой исследования тепловых процессов и эффектов в сплошных средах является уравнение баланса тепла, которое в случае постоянства коэффициента теплопроводности λ_θ имеет вид [1]:

$$\frac{\partial\theta}{\partial t}+(\nabla\theta)\cdot\vec{v}=a_\theta\Delta\theta+\frac{T_\sigma\cdot T_\xi}{C_p\rho}, \qquad (1)$$

где θ - температура, $a_\theta=\lambda_\theta/(\rho C_p)$ - коэффициент температуропроводности, C_p - удельная теплоемкость при постоянном давлении, T_σ - тензор напряжений с компонентами σ_{ij}, T_ξ - тензор скоростей деформаций с компонентами ξ_{ij}, ρ - плотность, $\vec{v}$ - скорость, t - время.

Слагаемые левой части уравнения (1) описывают изменение температуры окрестности материальной частицы в результате изменения температуры окрестности пространственной точки во времени и конвекции. Первое слагаемое правой части описывает изменение температуры за счет теплопроводности, а второе – за счет диссипации механической энергии.

Современный подход к решению задач неизотермических течений в тонких слоях обычно основан на совместном решении уравнения баланса тепла и обобщенного уравнения Рейнольдса в форме, предложенной Д. Доусоном и позволяющей учесть температурное изменение вязкости [1]. В наиболее простой постановке считается, что вклад теплопроводности мал, а все выделяемое в результате жидкостного трения тепло аккумулируется в жидкости и уносится в потоке. Такая постановка называется адиабатической [1,3]. Во многих работах учитывают теплопроводность только в направлении толщины пленки [4, 5] В наиболее полной постанове рассматриваются

сопряженные задачи, учитывающие тепловые процессы в жидкости и в твердых телах, а также деформационные процессы в твердых телах [1].

Одной из основных проблем постановки тепловых задач является определение граничных условий. В ранних работах использовались граничные условия первого рода, то есть температура на всей границе области считалась известной [1]. С начала 60-х годов прошлого века стали применять условия четвертого рода (идеального теплового контакта) равенства температур и тепловых потоков между жидкостью и твердым телом [1]. Более подробно, можно выделить четыре зоны границы области течения: зону подачи (входа) жидкости в область течения, зону слива (выхода) жидкости, зону контакта с движущимся твердым телом и зону контакта с неподвижным твердым телом (рисунок 1). Во многих случаях температура в зоне подачи является известной величиной, что по сути определяет граничные условия первого рода. Но в некоторых случаях в этой зоне происходит смешивание подаваемой жидкости и жидкости истекающей из области течения в результате обратных течений или других явлений, что серьезно усложняет определение граничных условий. Наиболее приемлемым в зоне слива жидкости является допущение о нулевом градиенте температуры по направлению течения, что определяет граничные условия второго рода. Также иногда в зонах подачи и слива задают тепловой поток по закону Ньютона-Рихмана, что определяет граничные условия третьего рода. В зонах контакта с твердыми стенками иногда задают однородные граничные условия первого рода, но на практике температура стенок не известна априорно, так как значим фактор разогрева стенок в результате жидкостного трения, кроме того, температура стенок может быть неравномерной. В других случаях пользуются граничными условиями второго рода, считая тепловой поток пренебрежимо малым, но более правильно задавать ненулевой тепловой поток. И, наконец, наиболее точным способом является задание граничных условий четвертого рода, однако это требует решения совместной задачи для жидкости и твердых тел [5].

Можно выделить несколько современных работ, в которых наиболее полно решается тепловая задача о течении сред в тонких каналах бесконтактных сопряжений. В работе К.А. Лукьявича и М. Брауна [6] решается совместная задача течения ньютоновской жидкости и деформации стенок канала в стационарной неизотермической постановке. Для жидкости решаются уравнения неразрывности, движения с учетом инерции и баланса тепла с учетом сжимаемости жидкости в трехмерной постановке. В решении используется программный комплекс «ANSYS CFX». Для учета термоупругой деформации решаются уравнения равновесия упругой среды с учетом температурных напряжений. Для неподвижной части бесконтактного сопряжения решается уравнение баланса тепла в форме $\nabla\cdot(\lambda\nabla\theta)=0$, учитывающей только теплопроводность, для вращающейся части дополнительно учитывается конвективный перенос тепла в направлении его вращения. На участках контакта жидкости и твердых тел задаются граничные условия четвертого рода идеального теплового контакта. На торцах в осевом направлении задаются граничные условия третьего рода. Решение задачи выполнялось с применением итерационных процедур [6]. В работе Е.А. Задорожной [4] рассмотрена задача нестационарного термогидродинамического течения жидкости максвелловского типа. Гидродинамическая часть основана на решении обобщенного уравнения Рейнольдса, В тепловой задаче для несжимаемой жидкости решается уравнение баланса тепла с

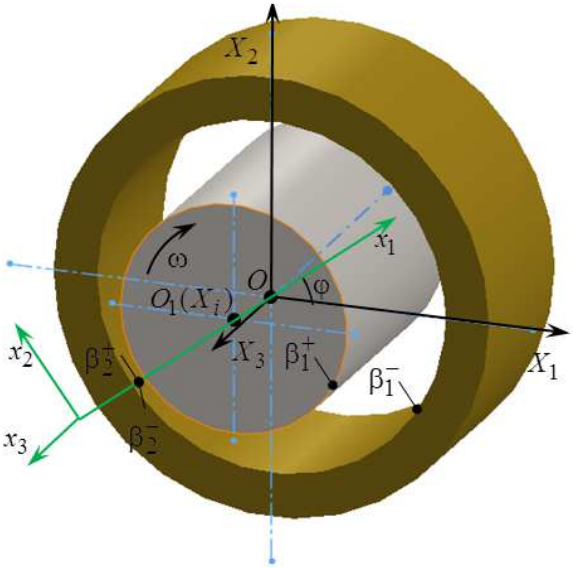


Рис. 1. Область течения жидкости в зазоре между несоосными цилиндрами

допущениями о пренебрежимо малых составляющих теплопроводности в окружном и осевом направлении, а затем о пренебрежимо малых изменениях температуры в осевом направлении [4]. Последнее допущение не вполне соответствует результатам эксперимента в работе [2]. Для неподвижной части бесконтактного сопряжения решается уравнение нестационарного баланса тепла в форме $\partial\theta/\partial t = \nabla\cdot(\lambda\nabla\theta)$ без учета изменения температуры в осевом направлении длины. Для вращающейся части поле температур на поверхности считается однородным, поэтому решается пространственно одномерное уравнение баланса тепла в его интегральной форме. На внешней поверхности сопряжения задается граничное условие третьего рода в соответствии с гипотезой свободной конвекции с окружающей средой. На поверхностях контакта жидкости и твердых стенок заданы граничные условия четвертого рода. В зонах подачи и слива рабочей среды задаются граничные условия первого рода [4].

В работе [7] на основе анализа безразмерных уравнений было показано, что в исследуемых процессах течения сред в тонких каналах поле температур существенно изменяется по всем направлениям, поэтому в неизотермических задачах желательно исследовать трехмерные поля температур. Было показано, что конвективные члены имеют наибольшее значение, а процесс теплопроводности в большей степени происходит в радиальном направлении. Течение между несоосными цилиндрами (рисунок 1) удобней описывать в криволинейных координатах, например, в бицилиндрических. В бицилиндрических координатах уравнение баланса тепла (1) с учетом правил выполнения дифференциальных операций в криволинейных координатах, характеризуемых коэффициентами Ламе H_i, примет вид:

$$\frac{\partial\theta}{\partial t}+\frac{v_m}{H_m}\frac{\partial\theta}{\partial\beta_m}=\frac{a_\theta\in'_{ijk}}{H_iH_jH_k}\frac{\partial}{\partial\beta_i}\left(\frac{H_jH_k}{H_i}\frac{\partial\theta}{\partial\beta_i}\right)+\frac{2\mu\xi_{rs}\xi_{rs}}{\rho C_P}, \qquad (2)$$

где $\in'_{ijk}$ - модифицированный символ Леви-Чивиты, равный единице при четной перестановке индексов и нулю во всех остальных случаях.

В качестве граничных условий для уравнения (2) в последующих решениях следует использовать различные граничные условия в зависимости от вида конкретной решаемой задачи [8].

Работа подготовлена в рамках выполнения проекта по гранту Президента РФ № 14.Z56.17.1643-МК. Авторы выражают благодарность за оказанную поддержку.

Список литературы: 1. Захаров, С.М. Гидродинамическая смазка: состояние и перспективы / С.М. Захаров // Трение и износ. – 2010. – Том 31, №1. – С. 78 - 92. **2.** Cristea, A.F. Transient pressure and temperature field measurements in a lightly loaded circumferential groove journal bearing from startup to steady state thermal stabilization / A.F. Cristea, J. Bouyer, M. Fillon, M.D. Pascovici // Tribology Transactions. - 2016. – Pp. 1-23. DOI: 10/1080.10402004.2016.1241330. **3.** Савин, Л.А. Моделирование роторных систем с опорами жидкостного трения: монография / Савин Л.А., Соломин О.В. – М.: Машиностроение-1, 2006. – 444 с. **4.** Zadorozhnaya, E.A. Solving a thermohydrodynamic lubrication problem for complex-loaded sliding bearings with allowance for rheological behavior of lubricating fluid / E.A. Zadorozhnaya // Journal of Machinery, Manufacture and Reliability. – 2014. – Vol. 4. – Pp. 70-81. **5.** Encyclopedia of tribology / Q.J. Wang, Y.-H. Chung (Eds.). – New York: Springer Science + Business Media, 2013. – 4192 p. **6.** Laukiavich, C.A. An investigation into the thermal effects on a hydrodynamic bearing's clearance / C.A. Laukiavich, M.J. Braun, A.J. Chandy // Tribology Transactions.- 2015. – Vol. 58 (6). – Pp. 1-23. **7.** Корнаев, А.В. Моделирование течений сред сложной реологии в тонких каналах гидромеханических систем: дис. … д-ра техн. наук: 05.13.18 / Корнаев Алексей Валерьевич. – Орел, 2018. – 331 с. **8.** Кучеряев, Б. В. Механика сплошных сред (Теоретические основы обработки давлением композитных металлов): учебник для вузов / Б.В. Кучеряев. - М.: МИСиС, 2000. – 320с.

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ И ПРАКТИЧЕСКАЯ ПОЛЬЗА

Кравченко П.Д. *(ВИТИ НИЯУ МИФИ, г. Волгодонск, Россия)*
Тел. +7(918)5111311: E-mail: krapa21@yandex.ru

Abstract: *The necessity of practical utility appreciation of technical sciences is discussed. The example of troubles while evaluation of new constructive schemes of automatic seize devices is shown.*

Key words: *Technical science, utility, practical use, example, criterion.*

Наука, как сфера человеческой деятельности по получению новых знаний, условно делится на системы – естественные, общественные и технические науки.
Оценка полезности новых научных знаний может производиться с помощью различных методов: в современных условиях оценку значимости научных результатов производят с помощью индекса Хирша, который в целом определяет интенсивность цитирования научных результатов автора в публикациях высокорейтинговых международных журналов.

Такая оценка близка к оптимальной системе ранжирования, но не для всех систем наук. Объективность оценки научных достижении учёного в системе технических наук требует применения другого критерия, т.к. технические науки в основном представляют систему больше практической направленности исследований, чем теоретической.

Технические науки являются специфической сферой деятельности, основой которой является **техника** – производная от греческого ***techne*** –мастерство, искусство. Средства техники облегчают человеческую деятельность, как физическую, так и умственную. С оценкой результатов физической деятельности всё просто – есть понятие **КПД –**коэффициент полезного действия, значение которого является определяющим при сравнении нескольких объектов, работающих в одинаковых условиях. Имеются и удельные показатели - скорость, ускорение, энерговооруженность, удельный расход топлива…Для сферы умственной деятельности в системе технических наук разработка критериев значимости и полезности разработок учёного весьма затруднительна.

Согласно системе оценок результатов научной деятельности учёного, принятой высшей аттестационной комиссией – ВАК, защита работы, представленной на соискание учёной степени кандидата или доктора наук, происходит в соответствующих диссертационных советах по различным научным специальностям, для которых разработаны паспорта.

Анализ содержания паспортов специальностей по техническим наукам показывает, что во многих из них требования повторяются, оценка работы производится только диссертационным советом, решение которого утверждается постановлением ВАК.
В перечнях требований к диссертациям в паспортах отсутствует такой элемент новизны как пример применения эвристических приёмов поиска лучших новых технических решений, изобретения только косвенно учитываются в общей оценке, проведение творческих процедур «мозгового штурма» не упоминается как прием получения новых знаний.

В практике такой процесс можно сравнить с процессом золотодобычи, результат которого полезен всегда, только в процессе «мозгового штурма» нахождение самородка оказывается значительно проще, надо только правильно организовать эту процедуру. А это уже сложная методическая проблема, разрешение которой возможно с применением специальных методических приёмов.

Рассмотрим практический пример процесса оценки научных достижений учёного, представившего результаты своей работы в виде кандидатской диссертации «Обоснование выбора и конструктивного исполнения подвесных автоматических грузозахватных устройств (АГЗУ) для работы в особых условиях».

Особые условия работы – эксплуатация АГЗУ в зоне с высоким уровнем радиоактивного излучения, в условиях ЧС и ликвидации последствий ЧС.

Диссертационная работа выполнялась и оформлялась согласно требованиям и методическим рекомендациям ВАК и отдельных диссертационных советов. Результаты работы предварительно обсуждались по месту учёбы в аспирантуре, были одобрены и рекомендованы к защите в специализированный диссертационный совет. В этом совете при обсуждении дважды указали, что в работе «нет науки», но подчеркивали, что практическая польза исключительно высокая, и рекомендовали представить к защите в другой совет по родственной специальности. В другом совете также дважды рассматривали эту работу (второй раз уже по результатам исправлений), но заявили, что всё же «науки нет», как того требует ВАК.

Автореферат диссертации рассматривалась учёными ещё из четырёх диссертационных советов, результаты рассмотрений аналогичны указанным выше, после чего учёный отказался от защиты вообще.

Рассмотрим новизну и научные положения, представленные в указанной работе:

1. Эвристический метод создания новых конструкций АГЗУ с использованием наглядно-логического алгоритма, способствующего разработке и совершенствованию новых перспективных конструктивных схем.
2. Концепция принципа действия, взятая из живой природы на примере паука, с усилением элементов подвеса, захвата и зажима объекта, доказывает целесообразность её применения в конструкторской работе при создании АГЗУ на гибком подвесе с дополнительной нагрузочной массой.
3. Методика инженерного расчёта основной детали АГЗУ – фасонного крюка.

Основные результаты работы:

Принята в практику проектирования методика с применением межотраслевого фонда эвристических приёмов (МФЭП) поиска лучших технических решений согласно Приложению 2 известного учебного пособия проф. Половинкина А.И. «Основы инженерного творчества» как в проектной организации, так и в учебном процессе вуза, созданы и используются новые лабораторные установки для испытаний изобретённых АГЗУ на модели перегрузочной машины с гибким подвесом объектов перегрузки (патент на изобретение РФ), внедрен в производство патент РФ на автоматический захват плиты, работающий в зоне с высоким уровнем радиоактивности и другие АГЗУ.

Основные научные результаты диссертационной работы отражены в 2 центральных научных изданиях, входящих в Перечень ВАК, в 3 высокорейтинговых научных журналах на английском языке входящих в базу изданий SCOPUS, в 6 патентах РФ на изобретения, в 13 сборниках научных трудов, как российских, так и международных, и в монографии – всего 25 публикаций.

Работа обсуждалась в течении последних 2 лет не только в указанных советах, но и дважды на семинарах в системе Сколково. Везде подчёркивалась высокая практическая значимость работы, её практическая польза, однако традиционно считалось, что в ней «нет науки». Конкретное определение «науки» по отношению к указанной работе не приводилось.

Считаю такое положение несправедливым для учёного, приводящего в качестве научной новизны использование эвристических методов при исследованиях процесса создания объектов новой техники.

Автор настоящего доклада написал отзывы на авторефераты кандидатских диссертаций (около100) и докторских (более 20). Сравнивая научные положения в кандидатских диссертациях, можно заключить, что учёный, сделавший работу на установке, исследовавший процесс и правильно доказавший, что результаты достоверны, а методика оригинальная –выполнил научно-исследовательскую работу и овладел научным методом, решил научную задачу… Это учёный-исследователь. Нет сомнений, что он достоин учёной степени кандидата технических наук, согласно паспорту специальности и рекомендациям ВАК и диссертационного совета.

В нашем случае представлена работа учёного – конструктора, создающего новую технику на уровне изобретений по новой методике. Уровень новизны доказан патентами на изобретения. Но в паспортах специальностей ВАК этот параметр оценки научной работы не показан.

Нужен критерий оценки выполненной научной работы. Критерий должен содержать оценку уровня как исследований в теоретической части, так и в практической инженерной работе по созданию новой техники, т.к. инженерные разработки в технических науках не получили признания настоящей науки. Здесь следует отметить сильное влияние человеческого фактора, если отсутствует критерий оценки.

В Указе Президента РФ №642 от 1 декабря 2016 г. «О стратегии научно-технологического развития Российской Федерации» п.11а «…направления исследований и разработок в значительной степени соответствуют направлениям, актуальным для последних десятилетий прошлого века», п.11г «… сохраняется проблема невосприимчивости экономики и общества к инновациям» свидетельствуют о необходимости создания критериев оценки научной работы, показывающей высокую эффективность предложенных инновационных решений. Кроме того, в Правительстве РФ имеется министерство экономического развития, в чьи прямые обязанности входит поиск источников интенсивного экономического роста, но не входит обязанность объяснения причин упущенной выгоды от неиспользования инноваций в области технических наук.

Настоящий доклад представлен в качестве исходного пункта для обсуждения проблемы определения критериев оценки значимости научной работы, предпринятый ранее [1] для оценки эффективности объектов машиностроения. Множество новых технических решений [2], принятых учёными – конструкторами, представляют упущенную выгоду в многомиллиардных рублях из-за невосприимчивости экономики и общества к инновациям, что обозначено в вышеприведенном Указе Президента РФ.

Список литературы: 1.Кравченко П.Д. Необходимость новых подходов при оценке эффективности объектов машиностроения //Сборник трудов XIII международной научно-технической конференции в г. Севастополе в 2006г./Т.2, Донецк, ДонНТУ-324с. **2.** Кравченко П.Д., Федоренко Д.Н. Подвесные грузозахватные и манипулирующие устройства[Текст]. //П.Д.Кравченко, Д.Н.Федоренко. М.: НИЯУ МИФИ; Волгодонск: ВИТИ НИЯУ МИФИ, 2016. -284с.

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОИЗВОДСТВА НА ОСНОВЕ УКРУПНЕННОГО АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ И НОРМИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

Красильникова В.А., Кугультинов С.Д. *(ИжГТУ им. М.Т. Калашникова, г. Ижевск, Россия)*
Тел.: +7(912)4469709; E-mail: vkrassilnikova@gmail.com

Abstract: *This article presents the results of work on acceleration of technological die design. And special attention is paid to the creation of control programs for processing complex 3D surfaces on CNC machines. The problems of classification of tooling equipment as the base for creating CAD System and rating technological processes are discussed in the article too.*

Key words: *Computer-aided design, Computer-aided manufacturing, Multi-axis processing, Processing of complex surfaces, Classifier, Tooling equipment.*

Современные экономические условия поставили новые задачи перед машиностроительным производством. Подготовка производства нового изделия связана с созданием большого количества инструментальной оснастки, что требует больших временных и финансовых затрат. Это во многом связано с действующей в настоящее время системой ее создания, базирующейся на устаревшей концепции и являющейся фактором, снижающим эффективность работы предприятия.

Для поддержания конкурентоспособности изделий машиностроения необходимы инновационные решения, системный подход в проектировании и изготовлении инструментальной оснастки. Это должно привести к повышению эффективности производства.

Одним из таких решений может стать ускоренное технологическое проектирование на базе классификации, унификации и типизации, как самой инструментальной оснастки, так и ее элементов [1]. Кроме того, важное значение приобретает автоматизация процесса создания управляющих программ для механической обработки резанием 3D поверхностей на современных станках с ЧПУ. Зачастую проектирование процесса обработки матрицы и пуансона сложной формы занимает не часы, а недели и даже месяцы.

Вначале для ускорения технологического проектирования был разработан классификатор инструментальной оснастки, включающий класс – штампы (рис. 1).

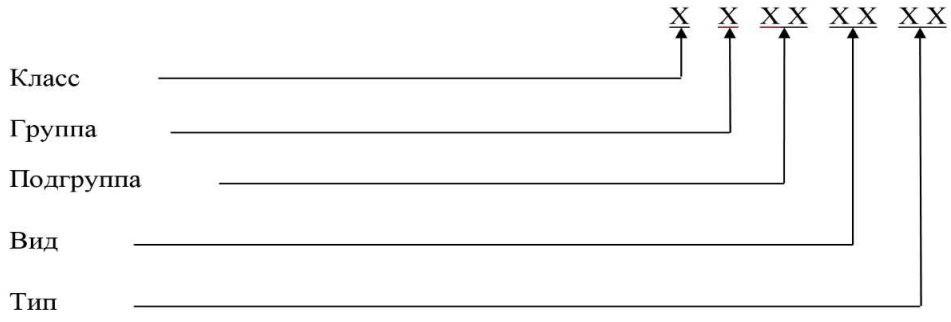


Рис. 1. Классификатор инструментальной оснастки

Штамп является сложным комплексным изделием инструментальной оснастки. В его основную сборку входят как унифицированные (плита верхняя, плита нижняя, держатель, выталкиватель) и нормализованные детали (винты, пружина, упор), так и уникальные (матрица, пуансон). Штампы схожей конфигурации и, как следствие, схожего классификационного кода будут совпадать в унифицированных и нормализованных деталях и иметь значительные отличия только в уникальных деталях.

Классификатор позволяет получать информацию о назначении изделия и его основных параметрах на различных уровнях технологической подготовки производства. Данный технологический код позволит в дальнейшем решать следующие задачи:

- поиск в базах данных ранее изготавливаемой продукции;
- подбор аналогов, основанный на ранее изготовленной продукции, позволяющий снизить время технологической подготовки производства;
- расчет стоимости осваиваемой на предприятии продукции, опирающийся на аналоги ранее изготовленной продукции.

Далее пристальное внимание было обращено на получение уникальных деталей, отличающихся значительной трудоемкостью в проектировании и предварительной подготовке производства.

Производство деталей со сложными криволинейными поверхностями отличается технологической сложностью и высокой трудоемкостью, 50-60% которой затрачивается на предварительную конструкторскую и технологическую подготовку производства. Основным моментом подготовки производства является выбор стратегии обработки, выявление количества переходов, уже от этого назначается оборудование и осуществляется подбор инструмента.

Таким образом, актуальной задачей является сокращение предварительной подготовки производства на стадии выбора стратегии обработки. Создание автоматизированной системы предварительного проектирования технологических процессов позволит сократить сроки технологической подготовки производства, тем самым уменьшив финансовые затраты производства в целом и увеличив его эффективность.

При выборе стратегии обработки упор делается на уменьшение времени обработки и, как следствие, увеличение производительности. Достигается это за счет уменьшения количества операций и переустановок детали, что также способствует увеличению точности исполняемых размеров детали.

При обработке сложных поверхностей, особенно криволинейных, состоящих из большого количества отдельных элементов, зависимых друг от друга с целью уменьшения влияния субъективного фактора и повышения уровня унификации технологических операций в качестве основы для проектирования стратегий обработки необходимо придерживаться алгоритму.

Проектирование стратегии обработки начинается с ввода исходных данных, в состав которых входят данные о размере (или размерах), параметрах точности и шероховатости поверхности, характеристиках материала, сроках и объеме выпуска продукции. Производится анализ объема удаляемого материала, что в дальнейшем определяет и стратегию обработки.

Следующим этапом необходимо произвести анализ поверхности на возможность унификации поверхностей и их размеров [2]. На основании конструктивных элементов поверхностей может быть построен классификатор поверхностей, обеспечивающий поиск типовых решений в технологической базе данных; применение конструктивных элементов делает стратегию обработки более однозначной и доступной для последующего преобразования в кадры управляющей программы станка. За счет связей между определенными конструктивными элементами можно создавать достаточно сложные виды обработки. (рис. 2)

В этом случае, конструктивные элементы - единица информации о конструкции, которая содержит следующее:

- тип элемента (отверстие, уступ, колодец и т.д.);
- параметры элемента (припуск, глубина и т.д.);
- геометрию элемента (ломаные, контуры, сплайны и т.д.).

Выполнение этапов по унификации весьма важно, поскольку ведет к снижению трудоемкости автоматизированного проектирования, сокращению объема баз данных, а также к сокращению номенклатуры режущего, вспомогательного и мерительного инструмента и снижению трудоемкости и себестоимости механической обработки деталей [3].

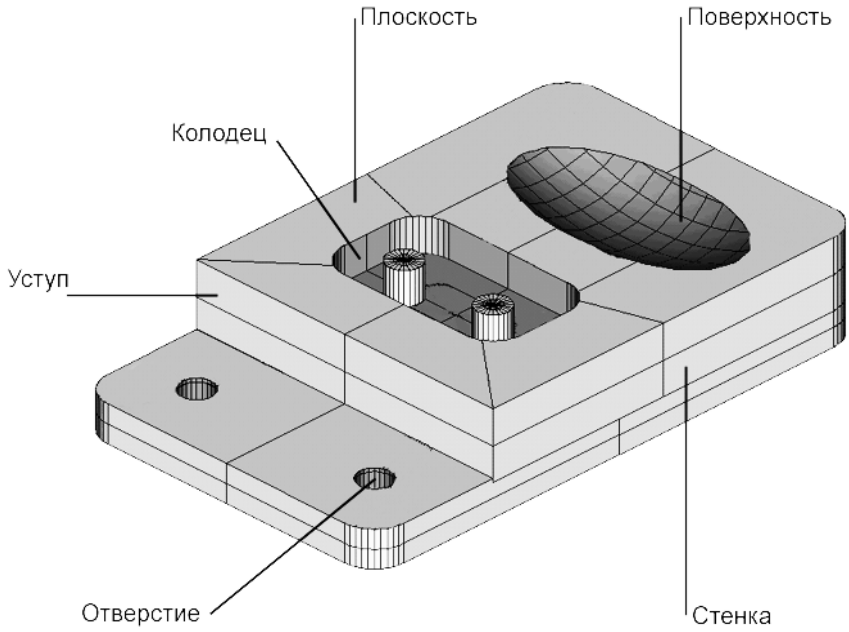


Рис. 2. Некоторые типы конструктивных элементов

На следующем этапе производится поиск аналога в базах данных (БД) “Поверхности” №1 (Типовые поверхности) и №2 (Сложные поверхности).

В соответствии с параметрами заготовки и требованиями к чистоте поверхности и размерам получаемой детали назначаются параметры обработки, такие как глубина резания, количество проходов, траектория движения режущего инструмента.

Относительно небольшое влияние глубины резания на стойкость инструмента и скорость резания при точении, строгании и фрезеровании позволяет при черновой обработке назначить возможно большую глубину резания, соответствующую припуску на обработку.

После выбора стратегии обработки на основании анализа формы ведется расчет минимального припуска и межоперационных допусков, размеров с использованием в качестве критерия соотношения: максимальный припуск на обработку [4].

В последствии стратегия переводится в кадры управляющей программы для требуемого станка.

Разработка представляет собой программное обеспечение, направленное на автоматизированное проектирование стратегии обработки резанием деталей на базе системы автоматизированной подготовки управляющих программ для станков с ЧПУ.

Автоматизированное определение стратегии обработки: расчету траектории движения инструмента на основании распознавания конструктивных элементов по 3D модели, осуществлять подбор инструмента в соответствии со стратегией обработки и назначать эффективные режимы резания в соответствии с параметрами детали. А также производить технологическое нормирование процесса механической обработки резанием.

Список литературы: 1. Кугультинов С. Д., Хисамутдинов Р. М. Разработка системы создания и эксплуатации инструмента для крупных машиностроительных предприятий на примере ОАО «КамАЗ» // Металлообработка, 2013. № 5–6. С. 59–62. **2.** Дружинский И.А. Сложные поверхности: Математическое описание и технологическое обеспечение: Справочник. - Л.: Машиностроение, Ленингр. отд-ние, 1985. - 263 с., ил. **3.** Аверченков В. И. Автоматизация проектирования технологических процессов: учеб. пособие для вузов / Аверченков В. И., Казаков Ю. М. – 2-е изд., стереотип. – М.: ФЛИНТА, 2011. – 229 с. **4.** CAD/CAM/CAE Observer. – 5(97)/2015 – 88 с.

ЭНЕРГОМАШИНОСТРОЕНИЕ РОССИИ В НАЧАЛЕ XXI ВЕКА: ТЕНДЕНЦИИ И ПЕРСПЕКТИВЫ

Кругликов П.А., Смолкин Ю.В., Сухорукова Е.А. *(ОАО «НПО ЦКТИ» им. И.И. Ползунова, г. Санкт-Петербург, Россия)*
Тел./Факс: 88127107335; E-mail: pak47@mail.ru

Abstract: *Perspective power technologies, their condition and level of plan`s implementation for their introduction in Russia are analyzed. The reasons of non-performance of programs and role of power machine building in their implementation are noted. The main problems and the development directions of power machine building industry are formulated.*

Последние десятилетия в энергетике ознаменовались появлением целого ряда новых технологий. Это не могло не отразиться на профиле энергооборудования и технологиях энергомашиностроения.

В мировой энергетике бурное развитие получили газотурбинные установки (ГТУ), созданные на их базе парогазовые установки (ПГУ), новые технологии в получении электроэнергии на базе атомной генерации; новые технологии сжигания угля: блоки с циркулирующим кипящим слоем (ЦКС) и на суперсверхкритические параметры (ССКП); возобновляемые источники энергии (ВИЭ).

Соответствующие планы, программы и стратегии не обошли стороной и РФ. В частности, в начале 2000 гг. появился ряд программных документов [1][2][3][4]. В них декларировалось развитие указанных технологий, определялись этапы и сроки освоения энергообъектов и технологий.

Отмечалось, что энергомашиностроение обеспечивающее выпуск наиболее наукоемкой техники, работающей в экстремальных условиях эксплуатации, является базовой отраслью, определяющей технический уровень национальной энергетической безопасности. К сожалению, очень многие положения этих программных документов оказались невыполненными. В частности:

- вместо перехода на преимущественную поставку отечественных материалов и заготовок в энергомашиностроении создалась ситуация, когда доля импортного основного оборудования при оснащении ряда предприятий электроэнергетики доходит до 80%;
- намеченные промышленное освоение и доработка типоразмерного ряда ГТУ мощностью 65-350 МВт и ПГУ на природном газе с КПД до 60%, планируемые к 2016 г., остались благими пожеланиями;
- на тот же 2016 г. планировалось применение ПГУ с внутрицикловой газификацией угля; освоение производства тихоходных турбин для АЭС, которые остались неосуществленными;
- очевидно, что промышленное освоение угольных энергоблоков ССКП на параметры 30 МПа и 600-620^{o}С, а также создание паровых угольных энергоблоков на параметры 35 МПа и 700-720^{o}С, намеченные на 2020 г., также не будут выполнены.

Происходит интенсивное старение основных фондов в отрасли. На большинстве предприятий показатель износа оборудования превышает 50-60%.

Россия до сих пор еще не достигла дореформенного уровня производства электроэнергии. В 2017 г. было произведено 1073 млрд. кВт-час против 1100 млрд. кВт-ч в 1991 г. Вместе с тем, развитие электроэнергетики является безусловным фактором для экономического процветания страны и ее безопасности не только энергетической, но и политической. На 2017 г. установленная мощность электростанций России составила 240 ГВт.

По ряду прогнозов потребность в установленных мощностях при базовом и максимальном сценариях развития составит показатели приведенные в Таблице 1 [5].

Таблица 1. Рост энергомощностей

Год		2020	2025	2030
Потребность в установленной мощности, ГВт	Базовый сценарий	275	295	318
	Максимальный сценарий	289	330	373

Т.е. ежегодно даже по заниженной оценке должно вводиться 4-5 ГВт новых мощностей без учета необходимости восстановления мощностей выработавших свой ресурс и выводимых из эксплуатации.

Существенное отставание выявилось даже в развитии традиционной теплоэнергетики. Намеченный в 2008 г. (при мощности ТЭЦ 145 ГВт) рост мощностей ТЭС декларировался как 169 ГВт к 2015 г. и 199 ГВт к 2020 г. [1]. Реальная мощность ТЭС на 2018 г. составила 162,8 ГВт.

Основные производители энергетического оборудования и их учетная производственная мощность приведены в Таблице 2 [1].

Таблица 2. Основные производители энергооборудования

Паровые турбины ГВт/год	ОАО «Силовые машины» ЗАО «Уральский турбинный завод» ЗАО «Невский завод»	7, 93
Газовые турбины ГВт/год	ОАО «Силовые машины» ОАО «Сатурн-газовые турбины»	2,6
Паровые котлы тыс. т пара/час	ОАО «ТКЗ «Красный котельщик» ОАО « МЗ «ЗиО-Подольск»	8,31

В приведенной оценке нужно учесть, что в общем объеме производства газовых турбин не менее половины занимают газовые турбины малой мощности, используемые при газоперекачке. Таким образом, для ввода новых объектов генерации необходимы расширение и технологическая модернизация производственных мощностей энергомашиностроения.

Это позволит не только дать стимул к развитию отечественной промышленности, до сих пор не преодолевшей последствия послереформенного спада, но и повысить долю отечественного присутствия на мировом рынке энергомашиностроения. К сожалению, доля России на мировом рынке энергомашиностроения до неприличия низка.

Таблица 3. Мировой рынок энергооборудования [1]

Производители	GE	Siemens	Alstom	Россия	Другие
Доля на рынке, %	24	10	16	2	48

Основной из причин сложившейся ситуации является отсутствие новых разработок и технологическое отставание производства, основанного на устаревшем оборудовании и технологиях. Существенно тормозит производство отсутствие типовых унифицированных технических и инженерных решений, позволяющих осуществить серийное производство оборудования, снизить сроки создания энергообъекта, уменьшить его стоимость и повысить надежность.

За рубежом строительство современной ПГУ в «чистом поле» осуществляется за 1-1,5 года. В России срок строительства около 3 лет, причем уже на существующих площадях за счет расширения. В Генеральной схеме размещения объектов электроэнергетики предусмотрено строительство 68 разных типов энергоблоков и 66 типов турбин [4]. Газовых турбин мощностью выше 65 МВт предусмотрено 10 типов,

при том, что даже ведущие мировые производители имеют в своей производственной линейке 3-4 типа таких турбин. Такое разнообразие приведет к неоправданно высокому уровню затрат на всех стадиях жизненного цикла энергоблока. Использование унифицированных типовых проектов позволило бы сократить сроки изготовления оборудования на 30%, а его стоимость на 20%.

Одной из проблем тормозящих развитие является недостаточная способность отечественных производителей обеспечить качество и объем поставляемой продукции, в частности крупных металлических заготовок. Более 40% литых и кованых заготовок заводы закупают за рубежом. Для производства газовых турбин более 100 МВт ПАО «Силовые машины» и ПАО «ОДК-Сатурн» на 100% закупают за рубежом заготовки для роторов турбины. До сих пор не освоено промышленное изготовление роторов паровых турбин и элементов конструкции котлов для блоков ССКП.

Необходимо отметить и определенное техническое отставание в проектах отечественной энергетики. В среднем по стране КПД по выработке электроэнергии на электростанциях относящихся к «большой» энергетике на 15-20% меньше по сравнению с США и Западной Европой.

Направление в тепловой энергетике, в котором Россия критически отстает от ведущих мировых производителей – газовые турбины большой мощности – 200 Мвт и выше. При этом за рубежом освоена и применяется одновальная компоновка ПГУ, когда газовая турбина мощностью 340 МВт и паровая 160 МВт имеют общий вал, что позволяет существенно сократить сроки создания и стоимость энергоблока.

В угольной генерации также имеется существенное отставание. Несмотря на многократное начало проектирования и даже определение площадок для строительства энергоблока ССКП - такой серийный блок до сих пор не создан. В ряде зарубежных стран подобные блоки функционируют с конца 90-х годов и число их измеряется десятками.

Важной составляющей технического отставания является устаревший парк станочного оборудования. В большой своей части это механическое оборудование, а не основанное на станках автоматах с ЭВМ.

Критическим местом в создании высокоэффективного энергетического оборудования является недостаток инвестиций. Разработка новых технологий и их освоение до состояния промышленного продукта чрезвычайно затратные предприятия. Отдельные ОГК, ТГК и более мелкие энергокомпании не обладают достаточным ресурсом для финансирования пилотных проектов на новом оборудовании, а их собственники зачастую не обладают и желанием для подобных внедрений. Становится очевидной необходимость , как минимум долевого государственного финансирования НИОКР в области энергомашиностроения, а как максимум и пересмотр вопросов собственности отдельных объектов энергетики и энергомашиностроения.

Еще в 2013 г. было принято решение о корректировке Энергетической стратегии с пролонгацией её до 2035 г. В 2015 г. Минэнерго внесло в Правительство соответствующий проект об утверждении Стратегии. В 2016 г. по этому вопросу проходили совещания в Правительстве. Но официально утвержденной новой Стратегии нет до сих пор.

Направления, на которых необходимо работать энергомашиностроителям и энергетикам в первую очередь :

1. С учетом частичной локализации в России производства энергетических ГТУ и несмотря на введение Западом санкций, целесообразно сосредоточить силы на разработке и освоении типоразмерного ряда мощных ГТУ (МВт): 290-350, 150-180, 100-130, 60-80 для создания бинарных ПГУ на высокие начальные параметры газа.
2. Несмотря на быстрый рост добычи природного газа, создание разветвленной газовой инфраструктуры в стране остается экономически

нецелесообразным. На это влияют такие факторы, как наличие огромной территории и малой плотности потребляемого топлива. Поэтому многие потребители, расположенные вне зоны газопроводов, будут ориентироваться на твердое топливо.
Для эффективного применения угля в энергетике нужно новое поколение энергоблоков: блоки 600-800 МВт на СКП с начальными параметрами 28-35 МПа и 600-700^{o}С и КПД 45-50%; блоки с ЦКС; ПГУ с газификацией угля.

При этом отдельные высокотемпературные узлы и детали газовых и паровых турбин и котлов из специальных жаропрочных сталей должны быть освоены в России, т.к. их закупка проблематична и нецелесообразна из-за зависимости по комплектующим и зап. частям. Парадокс ситуации еще и в том, что российские институты и промышленность еще в 60-е годы прошлого столетия впервые в мире освоили суперсверхкритические параметры пара. Были изготовлены котлы на параметры 40 МПа и 700^{o}С для научных целей и стендовых испытаний. Они были установлены в Политехническом институте (г. Киев) и ЦКТИ (Санкт-Петербург). На ТЭЦ ВТИ (Москва) был сооружен первый в мире котел на суперсверхкритические параметры пара 30 МПа и 600^{o}С производительностью 12 т пара в час, проработавший более 200 тыс. часов. Опыт его эксплуатации был использован при сооружении блока 100 МВт на Каширской ГРЭС на параметры 30 МПа и 650^{o}С, проработавшей 40 тыс. часов. Ученые и конструкторы из ЦНИИТМАШ, ЦКТИ, ВТИ, «ЭМАльянс, «Силовых машин» должны возобновить исследования по новым легированным жаропрочным сплавам и разработать проекты оборудования применительно к конкретным объектам энергогенерации, включая технологию газификации угля. Доработка состава современных отечественных материалов, создание новых марок сталей с обеспечением необходимых свойств при работе в супертемпературных условиях и создание технологий изготовления высокотемпературных элементов оборудования (паропроводов, корпусных деталей, лопаток роторов, поверхностей нагрева) из материалов нового поколения – главная задача энергомашиностроения сегодня. Отдельного рассмотрения заслуживают перспективы развития и динамика атомной энергетики.

Общая мощность АЭС в мире к 2018 г. достигла значения около 400 ГВт. При этом доля АЭС в мировом производстве электроэнергии начиная с 2005 г. начала несколько снижаться (16% в 2005 г. против 11% в 2016 г.). Количество действующих блоков с учетом выводимых из эксплуатации, начиная с 2000 г., практически остается постоянным.

Россия продолжает развитие атомной энергетики. Ее мощность в РФ составляет на 2017 г. 27,9 ГВт (11,5% от общей мощности ЕЭС), а выработка составила 19% от общего производства электроэнергии. Однако долгосрочные программы и планы их реализации также далеки от выполнения. По программе «25+25» планировался ежегодный ввод мощностей 2 ГВт с 2008 г. и 3 ГВт начиная с 2010. Всего за период 2008-2017 гг. введено 5 ГВт. Планируемый ввод 1ой плавучей АЭС (70 МВт) на 2013 г. перенесен на 2018 г., строительство продолжалось 9 лет.

Это связано с такими особенностями развития атомной энергетики, как 1) настороженность населения в местах строительства АЭС и рисками крупномасштабных аварий; 2) отказом от атомной энергетики и приостановкой программы ее развития в ряде стран (Италия, Германия, Испания, Швейцария, Бельгия, Австрия, Швеция, Литва, Польша); 3) общемировой тенденцией по улучшению экологической и радиационной безопасности.

Причин торможения развития атомной энергетики достаточно много, но одна из них – это недостаточность современной отечественной машиностроительной базы и возможность попадания в технологическую (а следовательно и политическую) ловушку от стран поставщиков, необходимость обновления технологической базы и гарантированность серийных заказов. Мощности энергомашиностроения РФ могут

позволить увеличить производство на десятки процентов, но не в разы, как планировали программы [2].

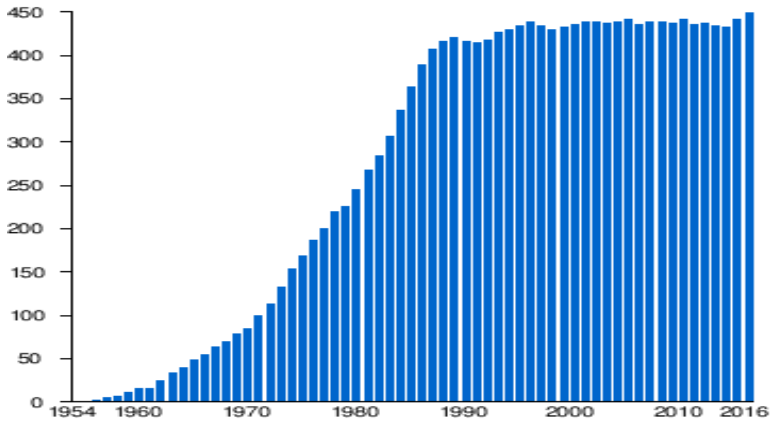


Рис. 1 Количество действующих блоков АЭС в мире

Окончание эйфории по поводу всеобъемлющего развития атомной энергетики фиксируется в проектах новых программ. Доля АЭС в балансе производства электроэнергии планируется на уровне 17-18%, а рост мощностей в период 2015-2036 на 8 ГВт с синхронизацией ввода новых блоков с выводом устаревших. Исходя из состояния отечественной экономики, газовой избыточности в энергетике, а также сокращения экспортных возможностей ориентироваться на высокие потребности в атомной отрасли не приходится.

Выводы:

1. Ожидаемые широкомасштабные планы развития отечественной энергетики оказались завышенными и не реализованными по основным перспективным технологиям.

2. Важнейшей и первоочередной задачей в электроэнергетике является переход на парогазовый цикл, освоение выпуска мощных газовых турбин и создания ПГУ мощностью 400-800 МВт, а также вывод из эксплуатации устаревшего паросилового оборудования.

3. Утверждение и реализация реальных программ развития энергетики, базирующихся на отечественной энергомашиностроительной базе и научном заделе, являются необходимостью, обеспечивающей энергетическую безопасность и суверенность страны.

4. Отечественное энергомашиностроение в состоянии обеспечить развитие на прорывных технологиях при соответствующей концентрации усилий и государственной поддержке.

Список литературы: 1. Стратегия развития энергомашиностроения РФ на 2010-2020 годы и на перспективу до 2030 г. **2.**Энергетическая стратегия России на период до 2030г.. **3.** Концепция технической политики в электроэнергетике России на период до 2030 г. (РАО ЕЭС, 2006) **4.** Генеральная схема размещения объектов электроэнергетике на период до 2020 г. и до 2030 г. **5.** Агентство по прогнозированию балансов в электроэнергетике. Официальный сайт: www.e-apbe.ru

ЗАДАЧИ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО УПРАВЛЕНИЯ КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТЬЮ ВУЗА

Кужелева С.А., Соколова Ю.В., Борзов Д.Б. (ЮЗГУ, *г. Курск, Россия*)
Тел: +79192736700; E-mail: borzovdb@kursknet.ru

Abstract: *The article shows the need and reveals the main tasks of automation of the management of competitiveness of the university in modern socio-economic conditions.*
Key words: *High school, management, competitiveness, tasks, research, marketing*

Высокий уровень конкуренции между высшими учебными заведениями на фоне нестабильной демографической ситуации привел к необходимости адаптации вузов к текущим социально–экономическим условиям и проведения системных исследований внутренней и внешней среды.

Сложившаяся ситуация требует от вузов серьезных маркетинговых исследований рынка образовательных услуг, которые должны привести к совершенствованию управления образовательным процессом, методов поиска и набора абитуриентов, качественному изменению образовательных технологий.

Для поддержания приемлемого уровня конкурентоспособности вуза в условиях демографического спада и снижения емкости рынка необходима систематическая работа, направленная на привлечение потребителей, на расширение занимаемой доли рынка по сравнению с конкурентами или, по крайней мере, на ее удержание на прежнем уровне [1].

Возникает проблема четкого установления вузом своих конкурентных позиций, определения и повышения уровня конкурентоспособности.

При выборе системы показателей для оценки конкурентоспособности вуза необходимо учитывать региональные особенности рынка образовательных услуг: состояние и перспективы экономического развития региона; большое число вузов-конкурентов, реализующих широкий спектр образовательных услуг; наличие вузов-монополистов по ряду направлений подготовки специалистов в различных областях народного хозяйства.

Поэтому деятельность вузов характеризуется повышенной сложностью процессов управления с учетом множества неполной, неточной, в том числе преднамеренно искаженной, информации.

Процессы управления в таких специфических социально-экономических системах как образовательные ставят задачу повышения оперативности и качества обработки поступающей информации, выработки адекватных решений. В сложившихся условиях решение актуальной задачи автоматизированного управления конкурентоспособностью становится неотъемлемой составляющей процесса управления высшим учебным заведением [1].

Под конкурентоспособностью вуза будем понимать состояние (конкурентную ситуацию) образовательной системы, оцениваемое по внешним и внутренним нормативным показателям.

При управлении конкурентоспособностью возникает необходимость сбора информации, характеризующей состояние внешней и внутренней среды вуза [4].

Можно выделить такие факторы конкурентоспособности вузов на рынке образовательных услуг: внутренние нормативные показатели вузов, цена, ассортимент образовательных услуг, экономическая эффективность деятельности, доля рынка, имидж вуза в регионе, политика государства в сфере образования, демографическая ситуация, уровень развития отраслей народного хозяйства, социально-экономическая ситуация в стране и в регионах, уровень развития конкуренции на рынке образовательных услуг, психологические, культурные факторы и др.

Необходимым условием успешного проведения маркетингового исследования является соответствующее информационное обеспечение. Качество оценки ситуации на рынке зависит не только от широты охвата факторов, оказывающих влияние на рынок, но и от качества их оценки, т.е. от достоверности исходной информации.

Рассмотрим типичные недостатки наиболее часто используемых источников исходной информации для анализа внешней среды вуза (таблица 1) [2].

Общая проблема российских исследователей заключается в том, что информационный рынок недостаточно развит. Подавляющая часть информации, которую можно получить о состоянии рынка образовательных услуг и их участников, имеет существенные недостатки: неточность, неполнота, недостоверность, устаревание.

Сегодня на российском рынке ни один источник информации не обладает такой степенью достоверности, чтобы делать аналитические оценки, основанные только на нем и не учитывать другие.

Большинство задач управления в условиях рынка образовательных услуг приходится решать при ограниченных объемах данных и высокой априорной неопределенности о состояниях социально-экономических объектов и закономерностях их изменений. Поэтому, для управления конкурентоспособностью вуза в настоящее время требуется внедрение простых и в то же время эффективных методов сбора и обработки статистических данных. Следует учесть, что конкурентоспособность вуза подвержена воздействию большого числа явных и скрытых факторов, не всегда поддающихся количественному описанию.

Таблица 1. Источники информации для анализа конкурентной среды вуза и их характеристика

№	Источники информации	Характеристика
1	Госкомстат РФ	Узкая номенклатура отслеживаемых показателей: неполнота предоставляемых сведений о вузах и состоянии рынка образовательных услуг
2	Высшие учебные заведения	Предоставляемая информация нередко носит рекламный характер и не соответствует действительности
3	Качественные и количественные исследования потребителей образовательных услуг	Субъективизм данных: дороговизна и сложность получения информации
4	Данные консалтинговых и маркетинговых фирм, результаты социологических и социально-экономических исследований.	В большинстве случаев неизвестны методика и степень достоверности полученной информации
5	Средства массовой информации	Предоставляемая информация в большинстве случаев представлена в разрезе непригодном для принятия управленческих решений.
6	Интернет	Фрагментарность представляемой информации о структуре рынка образовательных услуг

Возникает также необходимость решения ряда проблем при выборе совокупности объектов исследований: выделение генеральной совокупности, определение метода выборки и объема выборки. Генеральная совокупность должна быть ограничена, поскольку полное исследование, как правило, очень дорого, а в ряде случаев просто не-

возможно. Проведение сбора данных может сопровождаться ошибками – случайными и систематическими. Систематические ошибки возникают вследствие неточного выделения генеральной совокупности, ошибки при разработке опросных листов, неискренности опрашиваемых и др.

Предварительный сбор избыточного количества исходных данных из различных источников, последующая процедура их согласования, потребует значительных финансовых и временных затрат, что существенно затруднит проведение исследований.

Поэтому, одним из наиболее трудоемких и затратных этапов управления конкурентоспособностью вуза является поиск и сбор информации по изучаемой проблеме.

На современном этапе развития квалиметрии не представляется возможным выявление и измерение всех факторов, влияющие на механизмы формирование спроса на образовательные услуги вузов. Вследствие чего следует предварительно разграничить измеряемые и не измеряемые параметры конкурентоспособности вуза и для поддержки принятия управленческих решений использовать наиболее информативные измеряемые параметры.

Для получения наиболее информативных измеряемых параметров конкурентоспособности необходимо исследование следующих аспектов:

- конкурентных возможностей вуза;
- маркетинговой активности вуза;
- конкурентов и конкурирующих специальностей;
- предпочтений потребителей при выборе вуза.

При этом источники информации целесообразно разделить на официальные (перечисленные в табл.1) и неофициальные (полученные с применением методов бизнес-разведки, используемых в вузе) [4].

Необходимость сбора информации от источников предполагает создание системы мониторинга внутренней и внешней среды вуза и требует решения ряда задач:

- определение спектра задач, которые необходимо решить при управлении конкурентоспособностью высшего учебного заведения, установление позиций наблюдения;
- подбор перечня показателей, который должен быть необходимым и достаточным для решения поставленных задач, в целях снижения трудозатрат, возникающих на этапах сбора и обработки первичной информации;
- минимизации количества показателей для облегчения возможности получения конкретных заключений и выводов по результатам проведенных исследований;
- выбор методов сбора, определение круга источников получения информации.

Таким образом, в условиях конкурентной среды одной из важнейших задач управления высшим учебным заведением, является задача управления конкурентоспособностью на основе:

- сбора, обобщения и обработки информации о конкурентных условиях вуза;
- системного анализа конкурентоспособности вуза на рынке образовательных услуг;
- разработки вариантов управляющих воздействий для достижения поставленной цели и выбора наиболее предпочтительного из них в сложившихся условиях;
- разработки и реализации плана управляющих воздействий.

Метод управления конкурентоспособностью должен учитывать:

- региональные особенности конкурентных условий вуза;
- многоаспектность исследуемых процессов и их взаимосвязанность;
- отсутствие возможности полной формализации всех состояний конкурентной среды;
- возможность обработки данных, представленных в разнотипных шкалах;

– учитывать изменчивость большинства показателей во времени;
– учитывать, что конкурентоспособность объекта динамична и для объективной оценки ее текущего уровня нельзя применять лишь статические показатели.
– учитывать тот факт, что полученные исходные данные могут быть ненадежными (неточными, неполными, зашумленными, противоречивыми и искаженными) и др.

Выполнение комплекса предъявляемых противоречивых требований (полнота контроля разнородных данных, оперативность анализа конкурентоспособности образовательного учреждения, обоснованность принимаемых решений) в рыночных условиях может быть достигнуто на основе использования специализированных систем информационной поддержки принятия решений (СИППР). Установлено, что наиболее целесообразным при управлении конкурентоспособностью вуза является использование ситуационного подхода [4].

Список литературы: 1. Кужелева, С.А. Алгоритмические средства анализа конкурентных ситуаций вуза [Текст]/ С.А. Кужелева, К.А. Ткаченко // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение, 2013. -№1. Часть 3. - С.52-56. **2.** Кужелева, С.А. Оценка эффективности информационных технологий [Текст]/ С.А. Кужелева // Информационно-измерительные и управляющие системы. 2016. - №6. т.14. - С. 50-53. **3.** Кужелева, С.А. Повышение конкурентоспособности вуза на основе автоматизации процессов управления переориентацией обучаемых [Текст]/ С.А. Кужелева, Г.С. Титова // Наукоемкие технологии. 2014. - №12. т.15.- С.63-65. **4.** Кужелева, С.А. Система информационной поддержки принятия решений для управления конкурентноспособностью вуза на основе ситуационного подхода [Текст]/ С.А. Кужелева // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение, 2012. -№2. Часть 3. - С.194-198. **4.** Научные исследования: информация, анализ, прогноз [Текст]/ Абатнина И.А., Аматов А.М, Кужелева С.А. и др. Коллективная монография / Под общей редакцией О.И. Кирикова. Воронеж, 2010. Том 31 – 599 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ ЗМЕЕВИКОВЫХ ТРУБЧАТЫХ ВОЗДУХОПОДОГРЕВАТЕЛЕЙ

Курбанов Х.К., Гурбанова М.Х., Керимов Б.М., Ходжаев Дж.Н. (*ТГАСИ, ПИТ, ТГАСИ, ТГЭИ. г.Ашхабад, г. Ашхабад, г. Ашхабад, г. Мары, Туркменистан)*
Тел/Факс: 8-0012 46-46-10; 8-0012 21-19-35; +993 64-02-40-10; E-mail: hojatpi@mail.ru

***Abstract**: A study of heat transfer and hydraulic resistance of the spiral tube exchangers and the development of a technique of their calculation.*

В последние годы в теплоэнергетике широко используют теплообменники со спиральными змеевиками (мазутоподогреватели, экранные поверхности прямоточных котлов, подогреватели высокого и низкого давления). Имеющиеся в литературе данные по движению и процессу теплообмена жидкостей и газов в криволинейных трубных змеевиках недостаточно полны и не исчерпывают всех случаев расчета гидравлического сопротивления и теплообмена. Предлагаемые обычно формулы имеют очень узкую область применения и носят эмпирический характер.

Особенности течения жидкости в спиральных змеевиках и ее теплообмена со стенками по сравнению с прямой трубой обусловлены воздействием на поток инерци-

онных массовых сил. Дополнительные силы инерции, которые действуют на каждую частицу движущегося газа или жидкости, зависят от кривизны и аэродинамического режима потока.

Следовательно, движение и теплообмен в спиральных змеевиках должны описываться критериальными уравнениями вида:

$$E_u = f\left(R_e; \frac{d}{D}; \frac{L}{D}; \frac{K}{D}\right), \quad (I) \text{ и } N_u = f\left(R_e; \frac{d}{D}; \frac{L}{D}; \frac{K}{D}; P_r\right), \quad (I')$$

где

K - абсолютная шероховатость;

d - диаметр трубопровода;

D - диаметр закругления трубопровода;

L - длина змеевика.

Обычно рекомендуемая для учета кривизны формула $\varepsilon = 1 + 1{,}77\frac{d}{R}$ не учитывает числа Re и поэтому дает значения, сильно отличающиеся от данных, получаемых в экспериментах и при эксплуатации.

В работе некоторых авторов [1] сделана первая попытка обработки опытных материалов в виде зависимости $\frac{\xi_{зм}}{\lambda_0} = f\left(Re; \frac{d}{D}\right)$. Однако проведение исследований в узкой области изменения значений $\frac{d}{D} = 0{,}01 - 0{,}08$ не позволяет с достаточной надежностью распространить ее на область > 0,1. Расчеты по зависимостям, предложенным в этих работах, имеют значительные расхождения при распространении на всю область наиболее часто применяемых параметров $\frac{d}{D}$ = 0,01-0,2 и $R_e = (10 - 150) \cdot 10^3$.

Все это потребовало дополнительных исследований. Во время опытов, результаты которых подробно описаны в работах [2, 3, 4], параметры изменялись в следующих пределах: $\frac{d}{D}$ 0,03 – 0,13 и $R_e = (5 - 10) \cdot 10^3$, а число витков в спиралях – от 3 до 36. Для более объективного анализа исследовались также прямые трубы данного диаметра от 4 до 46 мм. При обработке опытных материалов коэффициент трения подсчитывается из известных выражений:

для спирального змеевика $\Delta P_{зм} = \xi_{зм}\frac{L}{d} \cdot \frac{\gamma w^2}{2g}$,

для прямой трубы $\Delta P_{пр} = \lambda_0\frac{L}{d} \cdot \frac{\gamma w^2}{2g}$.

Для определения влияния кривизны змеевиков на величину аэродинамического сопротивления обработка опытных данных проводилась по формуле: $\frac{\xi_{зм}}{\lambda_0} = 1 + \delta$.

где δ Относительное увеличение коэффициента сопротивления, вызванное кривизной спирального змеевика.

Величина этого приращения рассматривалась как функция R_e и $\frac{d}{D}$, т.е. $\delta = f\left(R_e, \frac{d}{D}\right)$ представлялась в виде $\delta = AR_e^m\left(\frac{d}{D}\right)^n$.

Окончательная обработка материалов опытов и сопоставление их с результатами работ [5] позволили предложить две зависимости:

при $R_e < 20000$ $\quad \delta = \frac{2.88 \cdot 10^4}{R_e}\left(\frac{d}{D}\right)0.62;$

при $R_e \geq 20000$ $\quad \delta = 0.1R_e^{0.29}\left(\frac{d}{D}\right)0.75.$

Основные зависимости для расчета теплообмена по аналогии примут вид $N_{изм} = N_{ипр}(1 + \delta)$. Анализ опытных данных и сопоставления их с опытными данными других авторов позволили по аналогии с расчетом коэффициента сопротивления пред-

ложить формулу для определения относительного увеличения коэффициента теплоотдачи, вызванного кривизной змеевика:

$$\delta' = 0.045 R_e^{0.3} \left(\frac{d}{D}\right) 0.75.$$

Настоящая зависимость описывает в диапазоне изменения числа $R_e = (20-150)\cdot 10^3$ и $\frac{d}{D} = 0{,}01 - 0{,}2$ и опытные данные всех авторов с точностью $\pm 6\%$. Для облегчения расчетов теплообменников (при определении δ и δ') предлагается пользоваться номограммами, построенными по рекомендуемым формулам (рис. 1 и 2).

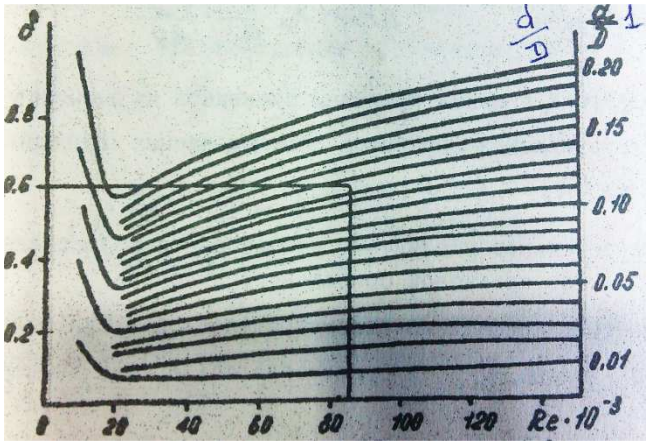


Рис.1. Номограмма для расчета гидравлических сопротивлений спиральных змеевиков

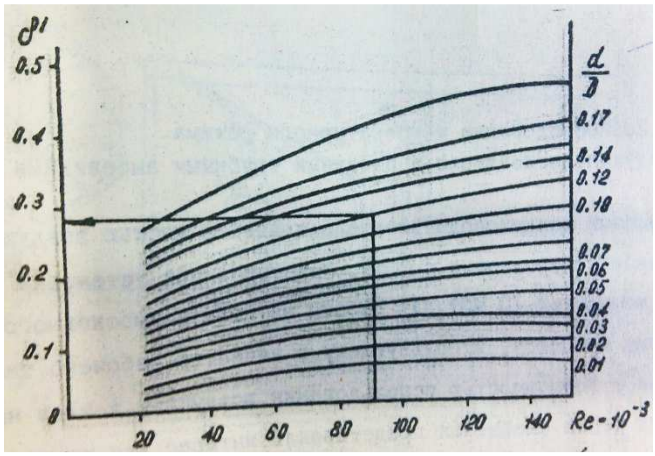


Рис. 2. Номограмма для расчета теплообмена в спиральном змеевике

Особое внимание было уделено изучению влияния начального участка в змеевиках с малым числом витков на величину общего коэффициента сопротивления теплообмена змеевика. Количество витков змеевиках в различных опытах изменилось следующим образом: 35; 30; 28; 26; 20; 15; 8,5; 7; 5; 3. Данные измерений обрабатывались по формуле $\frac{\Delta P_n}{\Delta P_{35}} = f(n)$ и $\frac{Nu_n}{Nu_{35}} = f(n)$.

где $\Delta P(Nu_n)$ и ΔP_{35} (Nu_{35}) соответственно сопротивление и число Нуссельта для змеевиков с числом витков "n" и 35. Полученные опытные точки хорошо аппроксимируются зависимостью $\frac{\Delta P_n}{\Delta P_{35}} = I + 1.8 l^{-0.11n}$.

Отклонение опытных данных по аэродинамике от расчетной кривой не превышает $\pm 5\%$, а по теплообмену $\pm 12\%$.

Список литературы: **1**. Мазуров Д.Я., Захаров Г.В. Исследование некоторых вопросов аэродинамики трубных змеевиков. – Теплоэнергетика, 1967, №2. **2.** Пермяков Б.А. К расчету гидравлического сопротивления спиральных трубных змеевиков. – Энергомашиностроение, 1973, №10. **3.** Пермяков Б.А. Особенности расчета теплообмена и гидравлического сопротивления спиральных трубных змеевиков. – Труды МИСИ, №142. М., 1977. **4.** Пермяков Б.А. Особенности теплового и гидравлического расчета спиральных трубчатых теплообменников. – Тезисы докладов НТ конференции. – Иваново, ИЭИ, 1975. **5.** Пермяков Б.А., Курбанов Х.К. Опыт эксплуатации и основные направления в применении воздухоподогревателей из стеклянных труб. – Сб. трудов , «Санитарная техника». Ашхабад,1982.

КОЛЛЕКТИВНАЯ ПРОЕКТНАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ СТУДЕНТОВ, КАК ИНСТРУМЕНТ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОБУЧЕНИЯ В ТЕХНИЧЕСКОМ ВУЗЕ

Лапаева И.В., Горобец И.А. *(ГОУ ВПО ДонНТУ, г.Донецк)*
Тел.: +38 (062) 3010715; E-mail: iren.vit@mail.ru

***Abstract**: the modern tendencies of education are a height of information and reduction of terms of educating. The instruments of increase of efficiency of education are didactic resonance and collective methods of participating in educational works. Exponential character over of height of knowledge is brought for students. The increases of efficiency of educating by the use of collective project work in student groups are given..*
***Key words:** necessity, quality, competense, project, analysis.*

В настоящее время в системе высшего образования существует тенденция постоянного роста объема информации, предъявляемой студентам для изучения и переработки, с одной стороны, и сокращающиеся сроки обучения отдельным дисциплинам, с другой стороны. Самостоятельная проработка современных объемов заданий зачастую не приносит положительных результатов.

Очевидно, достижение эффективности в условиях обучения в ВУЗе будет возможно, если усилия преподавателя по построению учебного занятия совпадут с собственными усилиями обучающихся в своей учебной деятельности. Такие синхронные действия в системе образовательной парадигмы «субъект-субъектных» отношений, в работе [1] В.М. Кожевников назвал «эффективным дидактическим резонансом».

Исследования современных учебных планов инженеров в ВУЗовской подготовке бакалавров и магистров показали доминанту индивидуальных учебных видов работ, в виде: лабораторных, практических, индивидуальных, курсовых, выпускных работ, всех видов практик. Вместе с тем, студенты, как индивиды, различаются друг от друга типами памяти, качествами мышления, особенностями восприятия окружающего, своими задатками и прежним опытом, психотипом и др. В связи с этим, студенты часто не выполняют свои работы в срок , в результате чего, преподаватель вынужден сдвигать сроки сдачи некоторых работ для достижения конечной цели обучения. Следствием таких действий являются: халтурные результаты работы, потухшая мотивация обучающихся, неудовлетворенность выполненной работы.

Одним из инструментов повышения эффективности обучения в ВУЗе с рациональных методов, темпа обучения, применение специальных приемов достижения «дидактического резонанса», является коллективная проектная деятельность студентов.

Отправным моментом для выбора такого инструмента обучения является базовый принцип современного бизнеса (от малого до гигантских корпораций) – коллективный труд специалистов! Более того, активное изменение производственных технологий, большой рост информации, характеризующиеся экспоненциальным характером изменений, и возрастающая сложность производственных задач приводят к возрастанию потребности в кооперации и сотрудничестве на рабочем месте. Одиночная работа не может конкурировать с командами сотрудников ни по объемам, ни по сложности, ни по времени выполнения рабочих задач.

Однако далеко не все выпускники ВУЗов умеют работать в команде. Такая работа предполагает наличие соответствующих знаний, умений и навыков, а также определенных личных качеств сотрудников. Следовательно, возникло противоречие в особенностях работы современных инженеров и недостаточной подготовкой

выпускников большинства инженерных специальностей к коллективной проектной работе, т.к. такие работы не предусмотрены учебными программами.

Значимость и востребованность умений и навыков коллективной проектной работы отмечались и на Ежегодном собрании Всемирного экономического форума бизнесменов 2017 года, который проводился в Давосе (Швейцария) [2].

Однако, работа специалистов в команде также не бывает абсолютно успешной. Существующая статистика эффективности проектной работы показывает, что только 44 % проектов заканчиваются вовремя [3], а 30 % проектов вообще провальные, т.е. нехватка времени на выполнение проекта может либо все испортить, либо повлечь за собой увеличение бюджета проекта или уменьшение прибыли от проекта. Согласно исследований, существует несколько причин провалов [3]. Одна из них - «студенческий синдром» - когда старт работы откладывается по времени либо потому, что сотрудники просто еще не готовы к работе, либо еще не сформировали команду, либо вообще не понимают, не хотят и не умеют работать в команде. В результате руководитель проекта должен обучать своих сотрудников работе согласно плана проекта. Работодатели считают, что выпускники вузов уже должны иметь знания, умения и навыки такой работы!

Таким образом, вопрос необходимости формирования навыка командной работы у студентов является актуальным. Развивать навыки командной проектной работы будущих инженеров необходимо во время вузовской подготовки.

Известно, что рост знаний имеет экспоненциальный характер [4]. Автор в своей работе сформулировал некоторые закономерности: «1. Увеличение объема используемого знания возможно только при увеличении числа людей. 2. Рост технологий происходит вследствие того, что их создают удачные и сообразительные люди, которых тем больше, чем больше численность населения. 3. Рост знаний имеет экспоненциальный характер». Следовательно, команда специалистов, работая над проектами, аккумулирует свои знания. Исследователями коллективных форм работ доказано, что наиболее эффективна структура, в которой связи порождаются на основе принципов обогащения, дополнительности или интегративности [5].

Таким образом, можно проанализировать подготовку будущих инженеров в современном учебном процессе ВУЗа. К сожалению. образовательный процесс в вузе построен таким образом, что студенты не приобретают знания, умения и навыки командной работы. Тем не менее, возможно использование закономерностей накопления знаний каждым студентом при выстраивании коллективной работы в команде [6].

Учитывая экспоненциальный характер роста знаний, в условиях ограничения времени $T_{зад}$ он не может происходить бесконечно. Поэтому функцию «желательности» (рис.1), можно описать известным законом Мура

$$y = a \cdot e^{kt} \qquad (1)$$

где $e = 2{,}718$, a – коэффициент роста, t - время, k – коэффициент прироста.

Поскольку знания в нулевой точке времени при выполнении проектного задания равны нулю, то зависимость (1) преобразуется к виду:

$$y = a \cdot e^{kt} + b \qquad (2)$$

Здесь (2) коэффициент B принимает значение -1

Анализируя график накопления индивидуальных знаний, можно проследить увеличение скорости накопления знаний, но лишь к концу периода обучения дисциплины (модуля). Особенностью многих индивидуумов студенчества является привычка откладывать все на завтра, на последний день, в результате чего студентам не хватает выделенного времени на изучение материала, обработку информации и на оформление результатов работы. Поэтому кривая накопления 100% уровня знаний смещается за рамки установленного периода $T_{зад}$, рис.3, и достигается лишь на протяжении времени T_1.

При этом существует разница во времени достижения 100% результата для сдачи работы

$$\Delta T = T_1 - T_{зад} \quad (3)$$

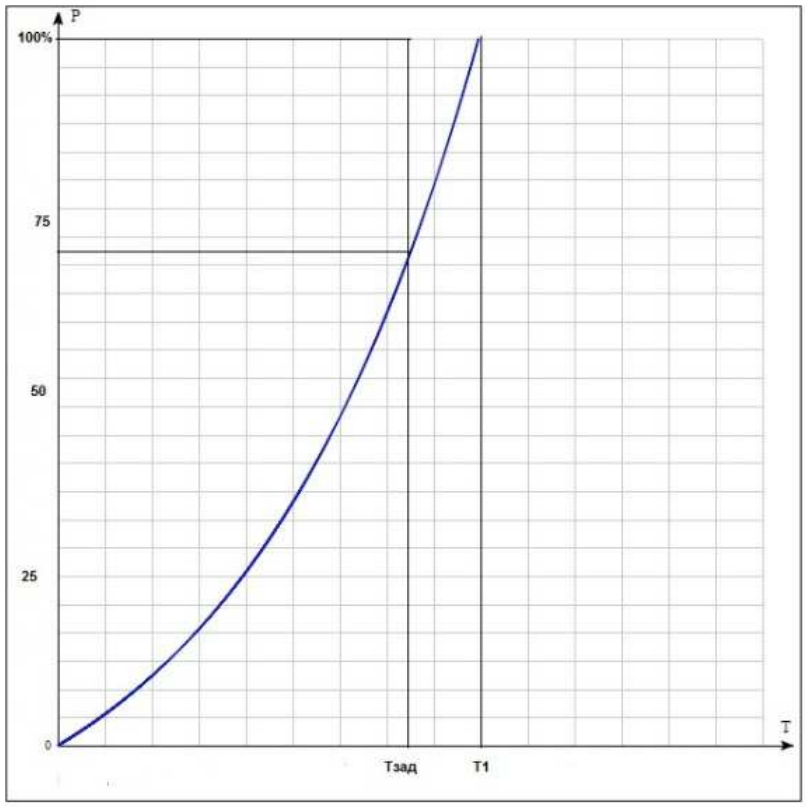


Рис.1. График накопления знаний в ограниченный период обучения

Но такую разницу во времени ΔT преподаватель не планировал. Это приводит либо к отрицательным результатам, либо к необходимости сдачи студентом работы не выполненной в полном объеме (см. рис.2), но во время ($T_{зад}$). Как результат, преподаватель может принять такую работу , но с соответствующей заниженной оценкой. Однако, такой подход приведет к недостатку в объеме полученных студентом знаний и навыков, что приведет к снижению эффективности обучения.

Возможно именно такая студенческая привычка и приводит к печальной статистике провала сроков выполнения проектов в бизнесе (до 80% проектов не выполняются в срок).

Однако, в случае использования команды из нескольких человек для решения поставленной перед студентами технической задачи, характер изменения кривой может иметь вид, представленный на рис.2.

Проанализировав характер кривой можно сделать вывод об увеличением скорости нарастания результатов. Таким образом, задача решена на 100% в установленные сроки (Тзад). А еще появляется и резерв времени для завершения поставленной задачи. а возможно, начала работы над следующей задачей.

Эксперименты, проведенные авторами в студенческих группах факультета инженергой мезаники и машиностроения ГОУ ВПО «ДонНТУ» (г.Донецк) в период 2016-2018 годов [7, 8] при проведении лабораторных работ по специальным дисциплинам и и при изучении иностранного (немецкого) языка, подтверждают рациональность использования командной работы в учебном процессе и успешность выполнения технических проектов в ограниченное рамками учебных занятий времени. Кроме этого, при проведении таких занятий, наблюдался и эффект «дидактического резонанса».

Таким образом, согласно проведенным исследованиям, для повышения эффективности процесса обучения будущих инженеров технических специальностей, целесообразно проводить некоторые занятия в виде коллективных проектов, с публичной защитой их результатов.

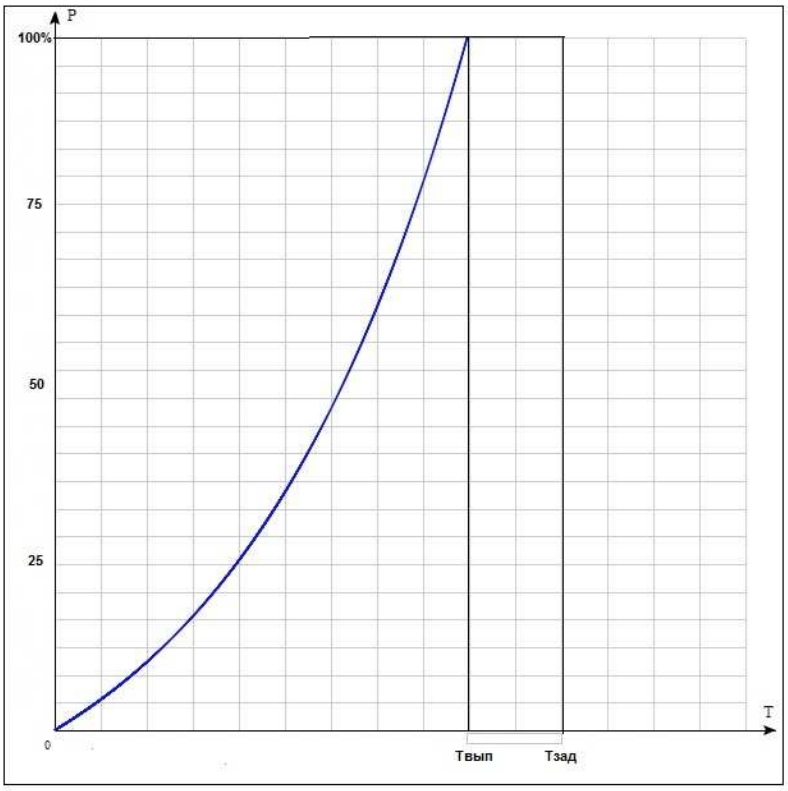


Рис 2. График изменения накопления знаний в ограниченное время коллективом студентов

Это позволит студентам получить знания, умения и навыки работы в команде, необходимые для производственной деятельности выпускников ВУЗов.

Список литературы.

1.Кожевников, В.М. Технология оптимизации процесса обучения: пути повышения ее эффективности / В.М Кожевников // Актуальные вопросы развития профессионализма педагога в современных условиях: сб.науч.статей (02-31 октября 2017).- Донецк. 2017. **2.** Страны сталкиваются с наибольшей нехваткой квалифицированных кадров [Электронный ресурс] // World economic forum: Всемирный экономический форум. - Режим доступа: https://www.weforum.org/agenda/2016/07/countries-facing-greatest-skills-shortages?utm_content=buffer450a3&utm_medium=social&utm_source=twitter.com&utm_campaign=buffer (дата обращения: 11.05.2017). **3.** Управление проектом – миссия невыполнима? [Электронный ресурс] / АРБ – Консалтинг: Журнал «Управляй будущим» - ваш инструмент улучшения бизнеса. 22.12.2010 - Режим доступа: http://www.arbconsulting.ru/subscribe/articles/articles_40.html**. 4.** Орехов, В. Прогнозирование развития человечества с учетом фактора знания [Электронный ресурс] / В. Орехов. – 2015. - Режим доступа: https://books.google.com.ua/books?id=IGy9CwAAQBAJ&printsec=frontcover&hl=ru#v=onepage&q&f=false **5.** Лешер, О.В. Педагогика воспитания и развития личности учащихся / О.В. Лешер, М.Е. Дуранов. – Магнитогорск, 1996. – 315 с. **6.** Горобец, И.А. Современные особенности и задачи подготовки квалифицированных специалистов / И.А. Горобец, А.Н. Михайлов, И.В. Лапаева, Н.В. Голубов // Современные проблемы техносферы и подготовки инженерных кадров: сб. тр. IX Международной научно-методической конференции в г. Сухум с 01 - 09 октября 2016 г. – Донецк: МСМ, 2016. - С. 54-55. **7.** Каверина О.Г., Лапаева И.В. Современные тенденции педагогической деятельности при подготовке инженерных кадров [Электронный ресурс] // Актуальные вопросы развития профессионализма педагога в современных условиях: сб.науч.статей (02-31 октября 2017).- Донецк. 2017. - Режим доступа: https://drive.google. com/file/d/0B_v5HvwUuHHrUmxadUJ2ZkVDNUU/view **8.** Лапаева И.В., Горобец И.А., Каверина О.Г. Анализ результатов постановочного эксперимента коллективного проекта в студенческих группах - Машиностроение и техносфера XXI века // Сборник трудов XXIV международной научно-технической конференции в г. Севастополе 11-17 сентября 2017 г. – Донецк, ДонНТУ, 2017. С.319-321.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРИЧИН РАЗРУШЕНИЯ МЕЖКОЛЬЦЕВЫХ ПЕРЕГОРОДОК ПОРШНЕЙ ДВС СОВРЕМЕННЫХ АВТОМОБИЛЕЙ

ЛихачеваТ.Е., Петрова Л. Г., Малахов А.Ю., Юрин П. А. *(МАДИ, Россия, 125319, г. Москва, Ленинградский проспект, 64)*
E-mail: t5329022@yandex.ru, met.madi@mail.ru, malahov-alex@yandex.ru, pit4body@yandex.ru

Abstract. *The destruction of the walls of the piston of the engine is quite common. This paper presents a brief overview of the possible causes of this phenomenon. The results of the study of the cause of the destruction of the piston engine partitions of a modern car, made by the Institute of independent automotive expertise of the Moscow automobile and road state technical University (MADI).*

Введение

Современный двигатель невозможно представить себе без поршня, а любой поршень без компрессионных и маслосъемного колец. В верхние канавки поршней вставляются компрессионные кольца, а нижняя канавка предназначена для установки маслосъёмного кольца. В канавке маслосъёмного кольца делаются сквозные отверстия, через которые излишнее масло отводится во внутреннюю полость поршня. Между канавками поршневых колец находятся разделяющие их перемычки или перегородки.

Во время работы двигателя на поршень оказываются комбинированные механические и тепловые нагрузки. Разделить их невозможно, поскольку любой материал с повышением температуры меняет свои свойства. Поршень, легко выдерживающий существующие нагрузки при рабочей температуре двигателя, будет разрушен под воздействием тех же механических нагрузок в случае его перегрева общего или локального [1].

Поршень может быть перегрет, если нарушится процесс смесеобразования и сгорания, происходящий в надпоршневом пространстве. Температура поршня может возрасти, в том числе, из-за нарушения смазки на зеркале цилиндра.

Рис. 1. Блок-схема причин повреждения межкольцевых перегородок поршней [2]

Поршневые кольца изготавливают из стали или чугуна. Горячие газы от сгорания топлива стремятся прорваться из надпоршневого пространства в картер между поршнем и зеркалом цилиндра. Поршневые кольца этому препятствуют. Давление, которое кольца воспринимают, передается на перемычки (перегородки) поршня. Если давление в сочетании с температурой превышают конструктивную прочность перемычек (перегородок) поршня, то они ломаются.

Повреждения поршней автомобильных двигателей происходят достаточно часто и хорошо известны специалистам. Наиболее часто встречающаяся причина – это нарушение процесса сгорания, приводящее к возникновению детонационных волн (детонации), резко увеличивающих нагрузку на поршень и поршневые кольца.

Перечень всех возможных причин повреждения межкольцевых перегородок поршней приведен на рисунке 1 [2].

Усталостное разрушение является одним из основных видов повреждения от действия циклических нагрузок. Усталостные разрушения возникают в процессе накопления повреждений в материале деталей под действием переменных напряжений, которые приводят к образованию микротрещин, их развитию и окончательному разрушению детали (изделия) [3,4].

Определение условий возникновения усталостной перегрузки по виду излома является основным объективным методом анализа отказов (разрушения) изделий и даёт возможность предупреждать аналогичные отказы. Критериев такого анализа шесть:

- характер излома;
- глубина развития трещины усталости;
- степень и характер наклёпа поверхности излома;
- число начальных очагов развития трещины;
- характер линии фронта трещины;
- число следов линии фронта трещины [3,4].

Исследование

Исследованию подвергся поршень четвертого цилиндра ДВС современного автомобиля (рис. 2). Поршни 1-3 цилиндров не имеют поломок или следов нарушения процесса сгорания топливовоздушного заряда. Отложения от нагара на всех поршнях имеются, но не носят аномальный характер. В центре каждого поршня 1-3 цилиндров имеется светлая поверхность, где произошло удаление нагара за счет впрыска и сгорания топлива. На поршне 4 цилиндра установлены следы от двух очагов сгорания топлива, что является аномалией и свидетельствует о нарушении процесса сгорания в данном цилиндре. Фрагмент кольцевых перегородок поршня сломан. Судя по характеру, излом раскрывался от усилия, приложенного сверху - вниз.

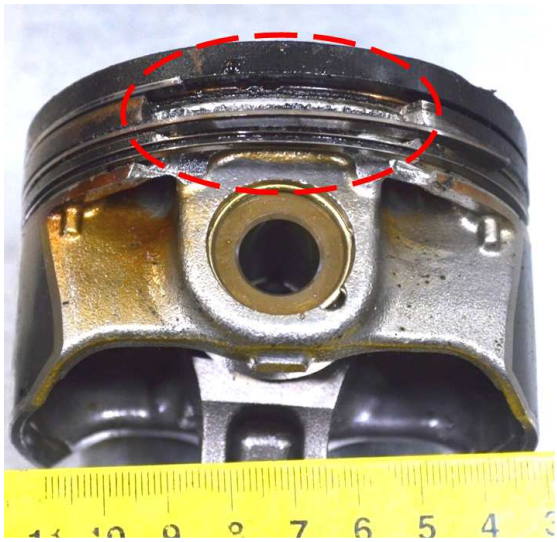


Рис. 2. Поршень четвертого цилиндра со сломанными перегородками

В процессе исследования поверхности излома было установлено, что разрушение перегородок поршня носит усталостный характер, на которой отчетливо

видны линии, характерные для усталостного разрушения (линии усталости) [5]. В процессе исследования поверхности излома при помощи бинокулярного микроскопа МБС-10, металлургических дефектов в виде пор, раковин, крупных неметаллических включений установлено не было.

С целью микроструктурного анализа при помощи спектрометра OBLF QSN 750 определен химический состав материала исследуемого. Химический состав материала поршня представлен в Таблице 1.

Таблица 1. Химический состав материала поршня [%]

Mg	Si	Mn	Fe	Zn	Cr	Ni	Cu	Sn	Ti	Pb	Al
0,95	12,4	0,10	0,49	0,05	0,03	1,95	3,4	<0,01	0,095	<0,01	основа

Ближайшим отечественным аналогом материала поршня по химическому составу является алюминиевый сплав марки АК12М2МгН ГОСТ 1583-93 [6], системы Al-Si-Cu, с повышенным содержанием кремния, легированный никелем и медью для повышения жаропрочности. Сплав удовлетворяет требованиям ГОСТ 30620-98 [7]. Содержание железа (вредная примесь, образующая хрупкие игольчатые формы соединения) находится в допуске в соответствии с ГОСТ 1583-93 [6].

Изготовленный микрошлиф из фрагмента поршня показан на рис. 3. Микрошлиф изготовлен из зоны рядом с зоной разрушения. В процессе макро- и микроанализа изготовленного микрошлифа было установлено, что канавка первого компрессионного кольца изготовлена из чугунной вставки с пластинчатой формой графита.

В чугунной вставке и в межкольцевой перегородке поршня имеются трещины, которые уходят вглубь материала поршня и являются продолжением усталостного разрушения.

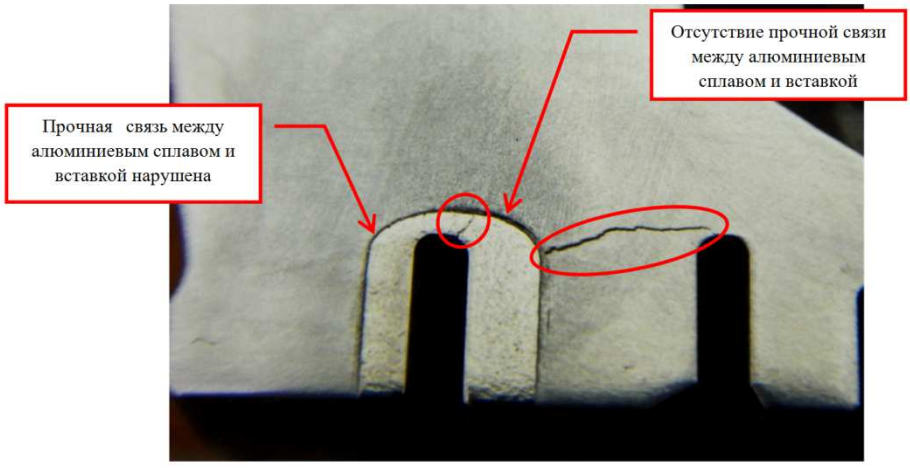


Рис. 3. Трещины в чугунной вставке и в межкольцевой перегородке исследуемого поршня

Между чугунной вставкой и материалом поршня образовался зазор. Основные трудности при производстве отливок поршней с упрочняющими вставками под верхнее поршневое кольцо (выполняемыми, как правило, из специального чугуна – нирезиста) связаны с необходимостью обеспечить прочную связь (адгезию) между алюминиевым сплавом и вставкой. При отсутствии такой связи резко снижается теплопроводность соединения, хотя механическое сцепление может быть удовлетворительным, что может привести к перегреву поршня и его разрушению при работе двигателя [8,9].

Микроструктура металла исследуемого поршня представляет собой не модифицированный алюминиевый сплав системы Al - Si- Cu, и состоит из эвтектики и кристаллов кремния [10]. Структура плотная, беспористая (рис 4).

Микроструктура чугунной вставки до травления представляет собой чугун с пластинчатой формой графита (рис 5). Металлическая основа чугунной вставки – аустенит.

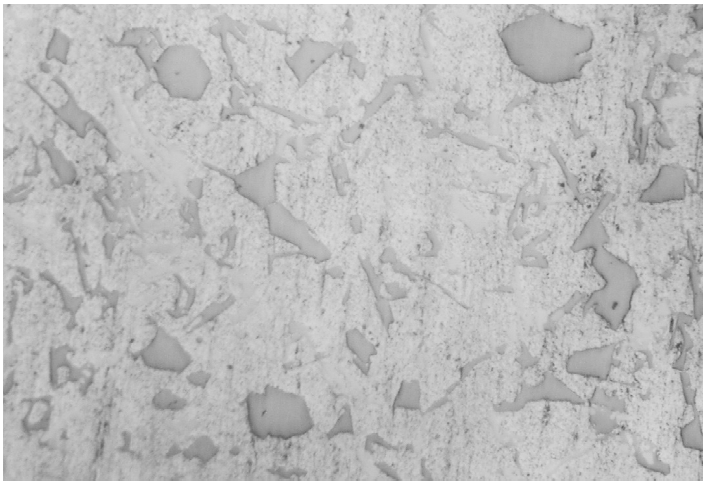


Рис 4. Микроструктура исследуемого поршня. Увеличение х 500 раз

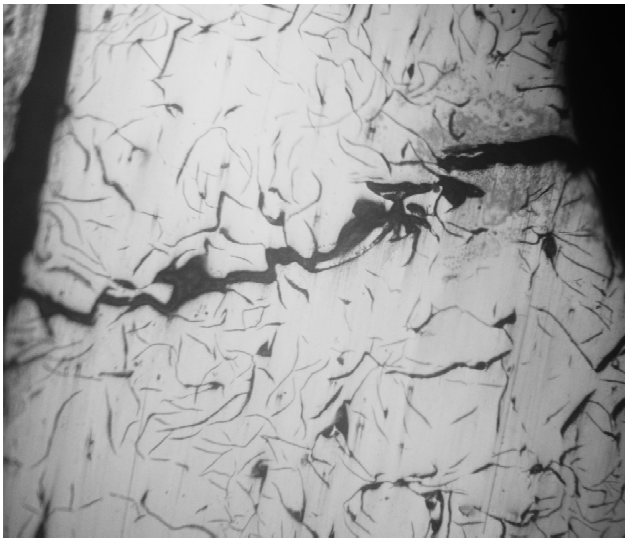


Рис. 5. Микроструктура чугунной вставки исследуемого поршня. Видны черные выделения графита пластинчатой формы и трещина в материале чугунной вставки. Увеличение х 250 раз

Металлургических дефектов в микроструктуре поршня в виде пор, крупных неметаллических включений, усадочных раковин и других не установлено.

Обсуждение результатов исследования

Разрушение произошло от приложения циклической нагрузки, превышающей предел выносливости материала поршня, которая была направлена со стороны днища поршня в сторону коленчатого вала.

Не обеспечена прочная связь между алюминиевым сплавом поршня и вставкой из чугуна под первое компрессионное кольцо.

Первопричина возникновения разрушения перегородок поршня - в технологическом нарушении, не обеспечившим хорошую адгезию между алюминиевым сплавом поршня и чугунной вставкой, а также в нарушении процесса сгорания, вызванного особенностями конструкции двигателя. Чугунная вставка под первое компрессионное кольцо неплотно прилегает к материалу поршня. На поршне четвертого цилиндра установлены следы от двух очагов сгорания топлива. В 1-3м цилиндре следы на днищах поршней носят штатный характер.

Установление указанных фактов позволяет отнести первопричину к нарушению технологии изготовления (в части чугунной вставки) и к особенностям конструкции (в части возможности образования второго очага пламени).

Нарушения владельцем условий эксплуатации (руководства по эксплуатации) не установлено. Двигатель на момент разрушения поршня был заправлен 98-м (октановое число) бензином.

Выводы

Причиной возникновения разрушения межкольцевой перегородки исследуемого поршня ДВС современного автомобиля является сочетанием двух факторов: отсутствие хорошей адгезии между алюминиевым сплавом поршня и чугунной вставкой под первое компрессионное кольцо, а также нарушение процесса сгорания в 4 цилиндре, вызванное особенностями конструкции двигателя. Таким образом, в данной статье показано, что причиной разрушения перегородок поршня не всегда бывает детонация, вызванная заправкой некачественным топливом, но и производственные и конструктивные недостатки самих ДВС. Каждый случай индивидуален и для правильного ответа на вопрос, об истинной причине разрушений перегородки поршня, необходимо объективное и полное (всестороннее) исследование.

Список литературы: 1. Арзамасова Б.Н. Материаловедение. Под общей редакцией Б.Н. Арзамасова, Г.Г.Мухина. М.: МГТУ им. Баумана, 2001. **2.** Повреждения поршней. Как выявить и устранить их. Издатель: © MSI Motor Service International GmbH Untere Neckarsulm\Германия. Авторы: Бернд Вальдхауэр, Уве Шиллинг и др. **3.** Петрова Л.Г. Исследовательский комплекс для мониторинга структурного состояния конструкционных материалов и его применение при анализе разрушений стальных деталей автомобилей/ Л.Г. Петрова, Т.Е. Лихачёва, А.Ю. Малахов // Вестник Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ). – 2013. – № 2. – С. 11-17. **4.** Шестопалова Л.П. Методы исследования материалов и деталей машин при проведении автотехнической экспертизы / Л.П. Шестопалова, Т.Е. Лихачев, - М.: МАДИ (ГТУ), 2017. **5.** Бернштейн М.Л. Фрактография и атлас фрактограмм. Справочник. М.Л. Бернштейн, Москва ”Металлургия”, 1982. **6.** ГОСТ 1583-93 Сплавы алюминиевые литейные. Технические условия. **7.** ГОСТ 30620-98 Сплавы алюминиевые для производства поршней. Технические условия. **8.** Садоха М.А. Особенности алитирования нирезистовой вставки при производстве отливок поршней из алюминиевых сплавов / М. А. Садоха // Литье и металлургия. – 2010. – № 3 (57). – С. 9 - 12.М. А**. 9.** Майоров А.Л., Н.Н.Гиль. Контроль качества сцепления нирезистовой вставки в отливках поршней дизельных двигателей. Литейное производство. 2005, 2 (34) с.135-138. **10.** Белов Н.А. Фазовый состав и структура силуминов / Н.А. Белов, С.В. Савченко, А.В. Хван. -М.: «МИСИС», 2008.

ОБРАЗОВАНИЕ ЛОКАЛЬНЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ КОНЦЕНТРАТОРОВ НАПРЯЖЕНИЙ ПРИ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКЕ ПРОФИЛЬНЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ДЕТАЛЕЙ

Макаров В. Ф. (*ПНИПУ, г. Пермь, Россия)*
Тел. 89124915014, E-mail: makarovv@pstu.ru

Abstract. *It is established, that in the course of machining of surfaces of a complex profile of the details working in operation at the big sign-variable loadings, in critical transitive zones of the interfaced surfaces of a profile the local technological concentrators of pressure promoting origin, growth of fatigue cracks and to the subsequent destruction of details in operation are formed. Such phenomena are found out, for example, at processing high strong teeths of gear wheels, at processing of profile surfaces of shovels of turbines, at manufacturing high modul conic carvings and other details having complex profile surfaces. Methods of decrease in size of such concentrators of pressure on the basis of application of various methods of local superficially plastic deformation of a blanket of transitive zones of profiles are developed and introduced. As a result the probability of formation of fatigue cracks was considerably reduced and resistance of weariness of the processed details has essentially raised.*

В современном машиностроении наиболее сложным и ответственным является производство газотурбинных двигателей, авиационных редукторов и трансмиссий. С каждым годом растут требования к безопасности полётов военной и гражданской техники, что в свою очередь, отражается на ужесточении требований к показателям качества и надежности, предъявляемые к агрегатам и изделиям в целом. Надежность авиационной техники во многом зависит от эксплуатационных свойств таких наиболее ответственных деталей ГТД как лопатки турбины и компрессора, зубчатые колеса, ступенчатые валы, резьбовые соединения, которые работают в тяжелых условиях агрессивных сред, повышенных температур и знакопеременных нагрузок. В то же время для приведенных деталей имеется одна характерная особенность. Все эти детали имеют сложные профильные поверхности с присутствием конструктивного концентратора напряжений и которые обрабатываются часто по профильной схеме методом врезания профильным инструментом (Рис.1). В результате сопряженные поверхности обрабатываемого профиля имеют принципиальные отличия условий контакта и резания соответствующими поверхностями профильного режущего инструмета. Вследствие этого на контактных поверхностях инструмента и детали создаются различные термодинамические условия резания и стружкообразования, что может вызвать появление значительной неоднородности параметров качества поверхностного слоя в переходной зоне – остаточных напряжений, микротвердости, шероховатости, структурной неоднородности.

Рис.1. Общий вид профильного шлифования спиральных канавок шнеков

Эти явления вызывают возникновение технологических концентраторов напряжений в переходных зонах профиля, как раз в тех местах, где уже действуют обычные конструктивные концентраторы напряжений, связанные с резким изменением формы профиля детали. В

результате возможно сложение технологического и конструктивного концентраторов напряжений, что приводит к ускоренному появлению и накоплению различных дефектов в поверхностном слое. В результате суммирования конструктивного и технологического концентраторов напряжений существующие при резании дефекты в поверхностном слое переходной зоны профиля, объединяясь в микротрещины, под действием знакопеременных нагрузок приводят к появлению усталостных трещин, что, в конечном счете, приводит к разрушению деталей при испытаниях и в эксплуатации. Известно, что разрушение детали начинается с поверхностного слоя и именно поверхностному слою ответственных деталей, имеющих сложные профильные поверхности следует уделять особое внимание в процессе их изготовления.

Анализ случаев появления трещин и разрушения шестерен ГТД при испытаниях и в эксплуатации показал, что разрушение носит усталостный характер с зарождением усталостной трещины в переходной зоне профиля зубьев от впадины к боковой поверхности.

В результате проведенных расчетов установлено циклическое образование сжимающих и растягивающих напряжений. Наибольшее опасное значение растягивающих напряжений наблюдается в радиусе перехода от впадины к боковой поверхности зуба. Именно в этой зоне имеют место наибольшие растягивающие напряжения от действия изгибного момента в условиях эксплуатации. Дополнительное повышение расчетного конструктивного коэффициента запаса прочности за счет увеличения габаритов зубьев и веса деталей для авиации весьма нерационально. Поэтому наиболее эффективными являются технологические методы повышения надежности и ресурса работы шестерен.

Оценка пооперационного формирования остаточных напряжений поверхностных слоев во впадине и на боковой поверхности шестерни, сделанная на основе анализа производственного опыта и расчета величины и характера распределения по данным научных исследований [ ] (рис.2), позволяет сделать вывод о том, что в переходной зоне формируются дополнительный технологический концентратор напряжений (ТКН), обусловленный резким переходом растягивающих остаточных напряжений от +200МПА на боковой поверхности зуба до высоких сжимающих остаточных напряжений до -700МПА на дне впадины зуба. При циклическом воздействии изгибающего момента при эксплуатации этот технологический концентратор усиливается периодически действием конструктивного концентратора, что и может служить источником зарождения первоначальных усталостных трещин и последующего разрушения деталей.

Выдвинута гипотеза: Выравнивание НДС в критической переходной зоне возможно путем введения дополнительной финишной операции упрочнения впадины зуба методом поверхно-пластического деформирования.

Применение обработки дробью способствует снижению величин градиентов основных параметров качества поверхностного слоя и формированию благоприятных сжимающих остаточных напряжений с необходимой величиной и распределением по глубине в области смежных поверхностей зуба. В результате, технологические сжимающие остаточные напряжения противодействуют изгибными напряжениям растяжения, возникающих при эксплуатационной нагрузке, что в свою очередь существенно повысит предел выносливости, сопротивление усталости и долговечность шестерен.

В результате проведенных усталостных испытаний установлено, что применение локального направленного упрочнения дробью переходных зон от впадины к боковой поверхности зубьев шестерен повышает предел выносливости на 15 - 20% по сравнению с прежним серийным маршрутом обработки. Таким образом, благоприятное воздействие метода ППД и формирование высоких остаточных напряжений сжатия снижает вероятность появления усталостных трещин и способствуют увеличению усталостной прочности шестерен ГТД.

Аналогичные исследования проведены при разработе методики назначения оптимальных режимов глубинного шлифования елочных профилей турбинных лопаток. Наиболее распространенным видом соединения рабочей лопатки и диска турбины является “елочный замок”, обеспечивающий равномерное распределение передаваемой нагрузки при

небольшом удельном давлении на рабочих поверхностях соединения. При обработке требуется обеспечить высокую точность профиля ± 0,05мм и низкую шероховатость $Ra \leq$ 1,25 мкм.

Для выполнения елочного профиля на замке лопатки применяется профильная схема врезного многопроходного глубинного шлифования с постепенным снятием припуска глубиной по первой впадине елочного профиля замка до 5-6 мм.

При усталостных испытаниях рабочих лопаток турбин на воздушно-пульсирующем вибростенде, проводимых периодически согласно диррективной технологии, обнаружено методом люминесцентного контроля образование трещин усталостного характера в первой впадине «елочного» профиля..При рассмотрении схемы профильного глубинного шлифования зубьев елочного профиля можно выделить несколько смежных поверхностей, обрабатываемым одновременно, например, по схеме плоского шлифования периферией круга при обработке впадины и по схеме торцевого шлифования при обработке наклонных торцевых поверхностей зубьев. Это приводит к различию сил резания, действующих на абразивное зерно; упругих и динамических деформаций; величины съема; температур в зоне контакта, которые определяют размерную точность и качество поверхностного слоя, возникновение трещин.

Возникает технологический концентратор напряжений в переходной радиусной зоне. При действии знакопеременных нагрузок в условиях эксплуатации этот концентратор напряжений складывается с циклически возникающим конструктивным геометрическим концентратором напряжений и создает условия для образования усталостных трещин в критической радиусной переходной зоне (рис.8в) и разрушения лопаток турбины.

Для снижения действия этого технологического концентратора напряжений и повышения сопротивления усталости после обработки глубинным шлифованием предложено применять процесс упрочнения профиля хвостовика микрошариками на пневмодробеструйной установке. В результате проведения дробеструйного упрочнения микрошариками «елочного» профиля хвостовика и последующих усталостных испытаний турбинных лопаток и образцов-имитаторов «елочного» хвостовика при нормальной (20 °С) и рабочей температуре (650 – 700 °С) установлено , что предел выносливости после упрочнения повышается на 20 – 25 % при испытании при нормальной температуре, а при испытании на рабочей температуре происходит увеличение на 60 %.

Изготовление конической резьбы проводится методом врезного профильного многопроходного нарезания на токарно- винторезном станке SCT 22100 с ЧПУ сборными резцами с механическим креплением специальных трехгранных профильных резьбовых пластинок фирмы Sandvik Процесс обработки идет с охлаждением СОЖ поливом.

В результате анализа износа и образующейся стружки на боковых режущих кромках и на вершине выявлено значительное отличие температурных и деформационных явлений, что связано с различной кинематикой резания. Несвободное резание радиусной вершиной резца происходит в сложных условиях трехстороннего сжатия с формированием дна впадины резьбы методом поперечного врезного точения канавок. При этом образуется деформированная вытянутая корытообразная стружка сине-зеленого цвета, что свидетельствует о высокой, порядка 500-600 градусов Цельсия, температуре резания. Резание боковыми режущими кромками резца является свободным резанием с образованием широкой плоской спиральной стружки светлого цвета, что свидетельствует о значительно меньшей деформации и температуре 250-300 градусов Цельсия.

Полученные результаты свидетельствуют о том, что в процессе нарезания резьбы в поверхностном слое дна впадины и на боковых поверхностях резьбы формируются различные параметры качества: шероховатость, остаточные напряжения и наклеп. Установлено, что на дне впадин наблюдаются более глубокие риски от режущего инструмента, чем на боковых поверхносях нарезанной резьбы. Таким образом, можно константировать факт образования технологического концентратора напряжений в переходной зоне от дна впадины к боковой поверхности, что в условиях действия изгибных знакопеременных нагрузок и при наличии конструктивного геометрического концентратора

напряжений может усиливать вероятность образования усталостных трещин и последующего разрушения резьбы.

Для снижения действия технологического концентратора напряжений предложено ввести поверхностно-пластическую деформационную обработку путем обкатки предварительно нарезанной резьбы роликом. .Испытания на сопротивление усталости при знакопеременном изгибе резьбового соединения проводились на стендовых установках при плоском или круговом изгибе по согласованной методике.

При анализе сравнительных усталосных испытаний установлено увеличение наработки обкатанного резьбового соединения над неупрочненным в 2,7…3,7 раза, с 700 тыс. циклов до 3900тыс. циклов. Таким образом, применение разработанной технологии упрочняющей обработки повышает усталостную прочность и надежность бурильных труб более чем в 3 раза.

Выводы

1. В процессе профильной механической обработки поверхностей сложного профиля деталей, работающих в эксплуатации при больших знакопеременных нагрузках, в критических переходных зонах сопряженных поверхностей профиля образуются локальные технологические концентраторы напряжений, способствующие зарождению, росту усталостных трещин и последующему разрушению деталей в эксплуатации.
2. Такие явления обнаружены, например, при обработке высоконагруженных зубьев шестерен, при обработке профильных поверхностей лопаток турбин, при изготовлении крупномодульных конических резьб и других деталей, имеющих сложные профильные поверхности.
3. Разработаны и внедрены методы снижения величины таких концентраторов напряжений на основе применения различных методов локального поверхностно пластического деформирования поверхностного слоя переходных зон профилей.
4. В результате значительно сократилась вероятность образования усталостных трещин и существенно повысилось сопротивление усталости обработанных деталей.

Список литературы: **1.** Макаров В.Ф., Горбунов А.С. Повышение ресурса и надежности работы спирально-конических шестерен путем применения упрочняющей обработки с учетом влияния технологической наследственности. Труды международной научно-технической конференции «Современные наукоемкие технологии, оборудование и инструменты в машиностроении», СПбГПУ, 17-19 сентября 2014г., С. 369-378. **2.** Горбунов А.С., Макаров В.Ф. Влияние последовательности обработки спирально-конических шестерен на распределение остаточных напряжений и величину наклепа поверхностного слоя зубьев // Технология машиностроения. 2012. №3. С. 9-12. **3.** Тамаркин М.А. Теоретические основы оптимизации процессов обработки деталей свободными абразивами. Дис… докт. техн. наук . Ростов-на-Дону, 1995 г. **4.** Папшев Д.Д. Отделочно-упрочняющая обработка поверхностным пластическим деформированием. - М.: Машиностроение, 1978. - 152 с**. 5.** Полетаев В. А., Волков Д.И. Глубинное шлифование лопаток турбин: библиотека технолога. - М.: Машиностроение, 2009. - 272 с. **6.** Никитин С.П. Теоретическое исследование устойчивости при обработке шлифованием./ Вестник УГАТУ. Уфа, Россия, 2013. Т. 17, №8(61), стр. 38-44. **7.** Афонин А.Н., Киричек А.В. Схемы деформирования при накатывании резьб УДК 621.99 [Электронный ресурс]/ Режим доступа: http://www.google.ru/ **8.** Повышение эффективности накатывания резьб: Автореф. дис. д.т.н. : (05.02.07) / А.Н.Афонин.— Орёл : Изд-во ОГТУ, 2010.— 32 с.

ВЫБОР ЛУЧШЕЙ МАРКИ СБОРНЫХ РЕЗЦОВ НА ОСНОВЕ СРАВНИТЕЛЬНЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ДИАГНОСТИКИ ПРОЦЕССА ТОЧЕНИЯ РЕЗЦАМИ РАЗЛИЧНЫХ ФИРМ ПРОИЗВОДИТЕЛЕЙ

Макаров В.Ф., Абзаев Р.С. (*ПНИПУ, г. Пермь, Россия)*
т. 89124915014, e-mail: makarovv@pstu.ru.

Abstract: *The effect of geometry, material cutting inserts cutters of various firms and cutting on the physical parameters of the cutting process and the quality of treatment by using the computer diagnostics. Conducted a comparative evaluation and recommendations for the use of cutting inserts, depending on the type of treatment.*

Автоматизированные технологические системы металлообработки, основанные на применении станков с ЧПУ, часто малоэффективны из-за недостаточной надежности работы применяемого режущего инструмента. Своевременная замена инструмента, обеспечивающая полное использование его ресурса, возможна только при предварительном обнаружении отказа. Этого можно достичь при постоянном контроле за работой инструмента и самого процесса резания.

Поэтому особо актуальным является предупреждение случайных поломок режущего инструмента и повреждения дорогостоящего оборудования. Знание характера и момента изменений, происходящих в объекте, позволяет оператору в кратчайшее время осуществить ремонт и тем самым повысить надежность объекта. Решение данной проблемы возможно путем внедрения в процесс резания на станке с ЧПУ постоянного мониторинга одного или нескольких физических явлений в зоне резания – износа инструмента, силы, температуры, мощности, шума и вибрации резания, с применением постоянно следящей системы диагностики. [1]

В то же время, применение системы диагностики процесса резания достаточно эффективно можно применить при назначении и выборе рациональных режимов резания и лучшей марки инструментального материала режущих пластин. Особенно это актуально при решении вопросов импортозамещения режущих инструментов на многих предприятиях машиностроения в РФ. [2, 3]

В связи с этим, проведено сравнительное исследование влияния конструкции, марки инструментальных материалов режущих пластин различных ведущих фирм на изменение физических параметров резания при точении. Для этого выбраны 5 наиболее известных производителей режущих пластин: Sandvic Coromant, SECO, Кировоградский завод твердых сплавов, Kennametal, Pramet ЧТС. Для исследований использовался разработанный в ПНИПУ комплексный компьютерный центр диагностики процесса резания [4]. При проведении предварительных исследований выявлена зависимость физических параметров процесса резания от скорости резания V, м/мин, подачи S, мм/об и глубины резания t, мм . Исследуемыми параметрами являются**:** сила резания, температура резания, скорость вибрации, шум резания, мощность резания. [5]

Экспериментальные исследования проводились с использованием державки: DCLNR 2525 M12 на токарно-винторезном станке 16К20. Данный станок выбран т.к. небольшие габариты станка позволяют беспрепятственно проведить экспериментальных исследований в лабораторных условиях.

На основании каталогов фирм, режущие пластинки которых выбрали для исследований, и рекомендаций, полученных от представителей этих фирм, проведен анализ геометрии режущих пластин: форма фаски и угол наклона, величина и форма радиуса, форма стружколома и его высота.

Исследования проводились при следующих условиях:

- Обрабатываемый материал: Сталь 30Х13, Сталь 45;

- Длина рабочего хода инструмента: L=210 мм.;
- Время обработки: To=40 сек..
- Вид обработки: чистовая, получистовая, черновая.
- Твердость материала НВ 170

Для чистовой, получистовой и черновой обработки подбирали пластины согласно рекомендациям фирм производителей. Рассмотрены рекомендуемые производителями диапазоны режимов резания. Для сравнительных испытаний выбраны средние значения этих диапазонов для каждого вида обработки. Проведены экспериментальные исследования влияния марки и геометрии инструментальных материалов режущих пластин различных фирм на физические параметры процесса точения: вибрацию, шум, составляющие силы резания Px, Py, Pz, шероховатость, температуру. Данные, полученные в результате экспериментальных исследований, например, при чистовой обработке представлены в виде гистограмм (Рис.1 и Рис. 2).

сталь 45 **сталь 30Х13**

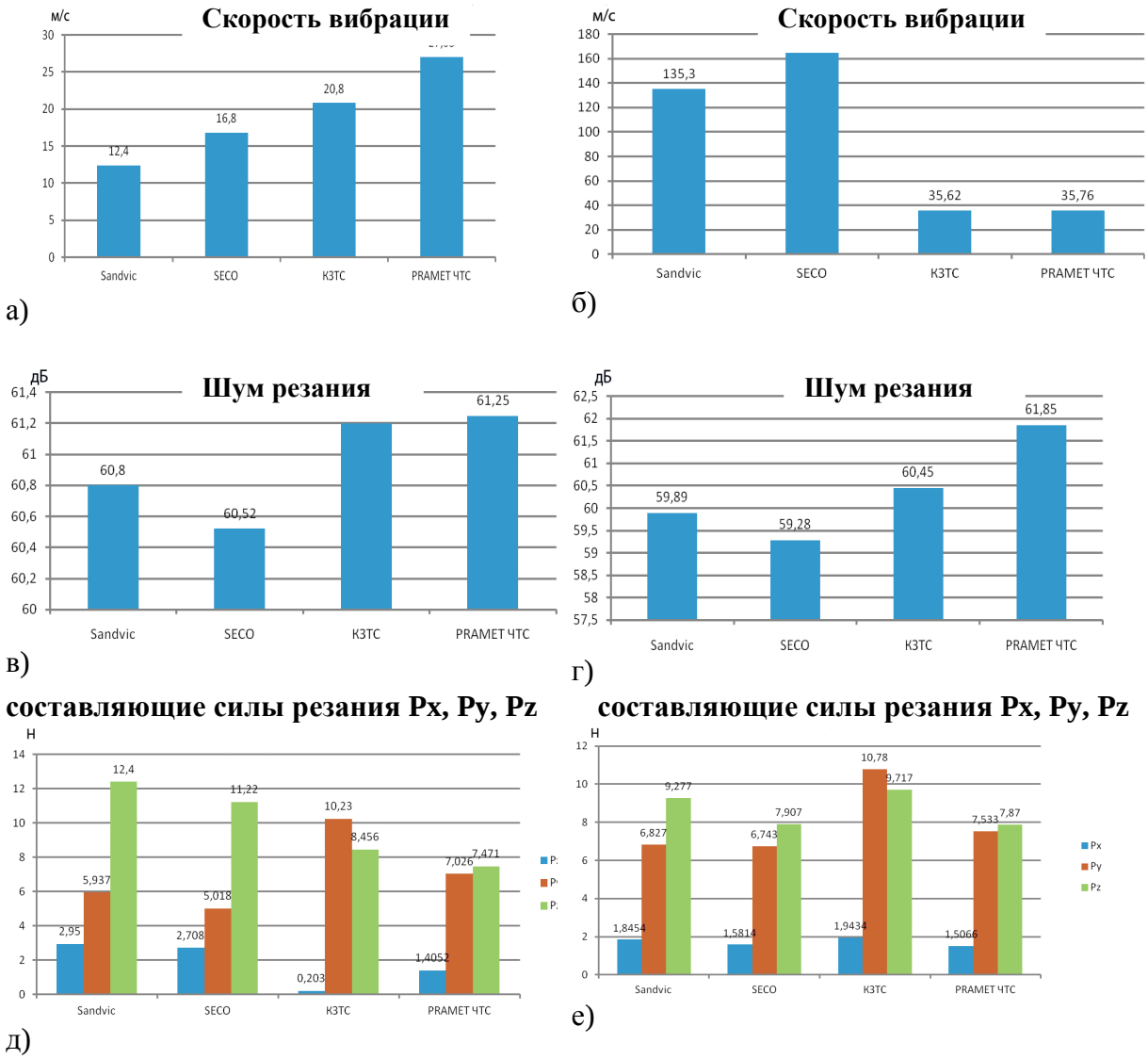


Рис. 1. Влияние различных марок СМП резцов различных фирм производителей при чистовой обработке стали 45 и стали 30Х13: на вибрацию (а, б), на шум (в, г), на составляющие силы резания Px, Py, Pz (д е)

Чистовая обработка проводилась при следующих режимах: S = 0,1 мм/об, t = 0,5 мм, V = 400 м/мин.

В качестве критеря выбора лучшей марки СМП для обработки Стали 45 и Стали 30Х13 принят комплексный критерий в баллах, учитывающий условие обеспечения наименьшей величины износа по задней поверхности, наименьших значений силы резания, вибрации и шума и наменьшей величины шероховатости обработанной поверхности.

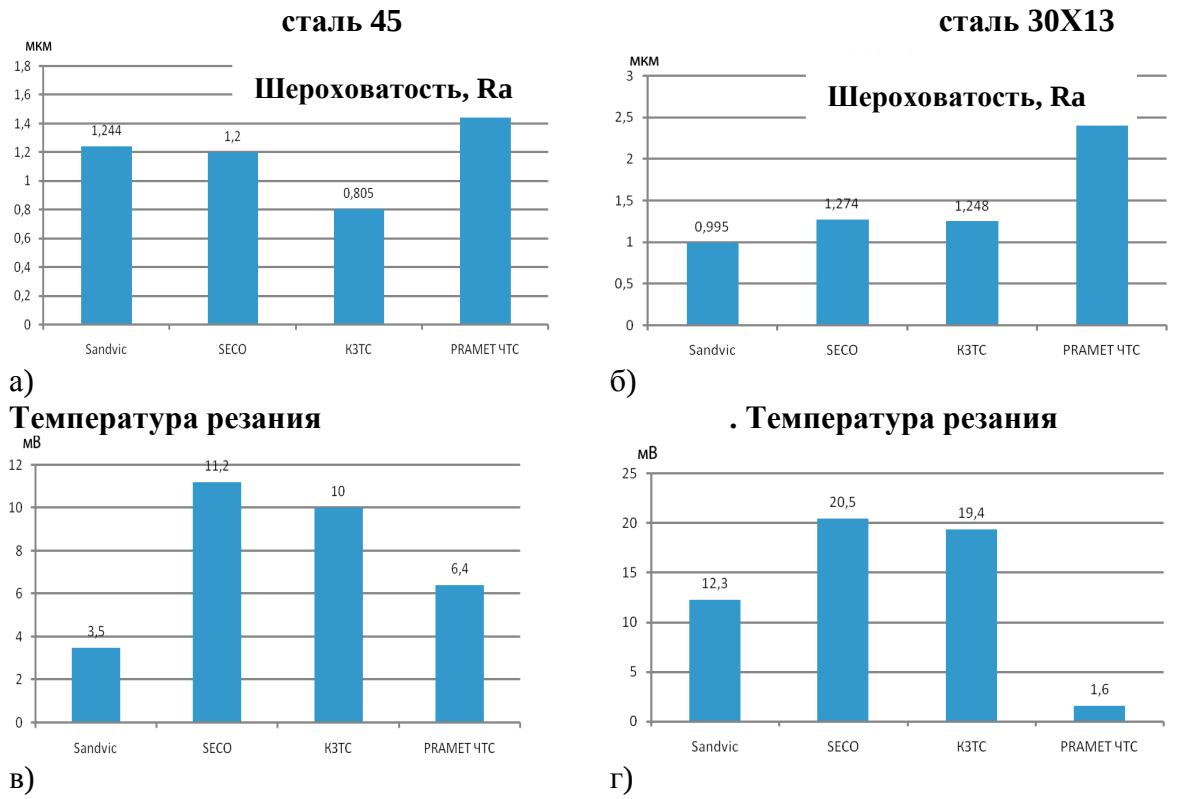


Рис. 2. Влияние различных марок СМП резцов различных фирм производителей при чистовой обработке стали 45 и стали 30Х13 на шероховатость (а и б) и на температуру резания (в и г).

В качестве критеря выбора лучшей марки СМП для обработки Стали 45 и Стали 30Х13 принят комплексный критерий в баллах, учитывающий условие обеспечения наименьшей величины износа по задней поверхности, наименьших значений силы резания, вибрации и шума и наменьшей величины шероховатости обработанной поверхности.

В результате обработки экспериментальных данных исследования влияния марки и геометрии инструментальных материалов режущих пластин различных фирм на физические параметры процесса точения сделаны следующие выводы:

Обработка Стали 45:

1. При чистовой обработке рекомендуется использовать пластинки фирмы SECO;
2. При получистовой обработке рекомендуется использовать пластинки фирмы KENNAMETAL;
3. При черновой обработке рекомендуется использовать пластинки двух фирм: KENNAMETAL и PRAMET ЧТС.

Обработка Стали 30Х13:

1. При чистовой обработке, рекомендуется использовать пластинки двух фирм: Sandvic и PRAMET ЧТС;

2. При получистовой обработке, рекомендуется использовать пластинки двух фирм: Sandvic и PRAMET ЧТС;

3. При черновой обработке, рекомендуется использовать пластинки двух фирм: KENNAMETAL.

Применение в качестве импортозамещения режущих пластин Кировградского завода твердых сплавов вполне рационально при чистовом точении стали 45 и стали 30Х13 – обеспечивается наименьшая шероховатость (рис.2а –Ст 45) и наименьшая скорость вибрации (рис. 1б -сталь 30Х13).

Список литературы: 1. Безъязычный, В.Ф., Кожина, Т.Д., Киселев Э.В. Автоматизированная система назначения технологических условий точения // Сб. науч. трудов «Инструментообеспечение и современные технологии в технике и медицине. Ростов-на-Дону», 1997. – с 24-26. **2.** Васин С.А., Верещака А.С., Кушнер В.С. Резание материалов: Термомеханический подход к системе взаимосвязей при резании: Учеб. для техн. Вузов. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2001. – 448 с. **3**. Горелов В.А. Автоматизированный многопараметровый стенд для экспресс-оптимизации режимов резания // Двигатель, 2006. - № 5(47). - с. 12-13. **4.** Макаров В.Ф., Абзаев Р.С., Шохрин А.В. Разработка комплексного компьютерного центра диагностики процесса резания // Сб.трудов IV Межд. Н.Т.К «Современные проблемы машиностроения. Томск», 2008. – с 609-613. **5.** Макаров В.Ф., Абзаев Р.С., Шохрин А.В. Исследование физических явлений процесса резания на основе применения компьютерного центра диагностики // Всероссийская конференция молодых ученых и специалистовов «Будущее машиностроения России», М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2008. – с 4 – 6.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТРАЕКТОРИИ ФРЕЗЕРОВАНИЯ НА ИЗНОС ПОВЕРХНОСТИ ПРЕСС-ФОРМ ПРИ ЛИТЬЕ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Макаров В.Ф., Кожевников С.И. *(ПНИПУ , Пермь, Россия,)*
Тел 89124915014., makarovv@pstu.ru

Abstract. *Molds operate under relatively loaded conditions with a large number of cycles, so it is required to provide the necessary surface quality to increase durability. Analysis of existing mold processing technologies has shown that the technology does not take into account the influence of processes occurring in the mold during mass production. It is proposed to use directed roughening. With the optimal processing of the milling of the forming surfaces, it increases the productivity and durability of the molds.*
Key words*: mold, forming surface, formation of roughness.*

В настоящее время в любом направлении промышленности преобладают детали сложной геометрической формы. Все чаще такие детали выполняют из полимерных композиционных материалов, так как производство таких материалов экономически выгоднее. Перед конструкторами и технологами стоит сложнейшая задача, произвести ответственные детали из совершенно новых композиционных материалов. Применение таких материалов дает мощный экономический эффект. При производстве некоторых деталей в космической или авиационной технике можно значительно снизить вес. Одним из способов производства полимерных композиционных материалов является литье под давлением.

Таким способом серийно можно получать детали сложной пространственной формы. Однако существуют ограничения на конструкцию детали, она полностью зависит от пресс-формы, которая необходима для литья под давлением.

В зависимости от конструкции пресс-формы она будет состоять из матриц, пуансонов, знаков, толкателей и различных подвижных элементов пресс-формы, шиберов и цанг. Сложность пресс-формы напрямую влияет на ее стойкость и долговечность. Происходит износ формообразующих поверхностей, так как при процессе литья под давлением по поверхностям движется расплавленная масса композиционного материала, как правило, содержащего армированные волокна, которые изнашивают поверхность.

Задача повышения долговечности пресс-форм на данный момент является актуальной. В работе [1] рассмотрен вопрос повышения долговечности штампов и предложен способ нанесения антифрикционных покрытий. Такой метод, при условии предварительной термической обработки и азотировании увеличивает износостойкость в 3-5 раз. В работе [2] даны рекомендации по повышению долговечности штампов упрочняющими методами. Предложен способ, который снижает усилия в штампе, тем самым уменьшая количество плановых ремонтов и увеличивая производительность.

Прежде всего, долговечность пресс-формы зависит от состояния поверхностного слоя, который определяет процесс взаимодействия с полимерным композиционным материалом. Одними из самых распространенных полимерных композиционных материалов являются стеклопластики. Стеклопластики армированы стеклянными волокнами, а матрицей является термореактивные смолы. Такие материалы имеют высокую прочность, низкую теплопроводность, а также высокие электроизоляционные свойства. Несмотря на все положительные стороны этого материала, он является отличным абразивом для формообразующих поверхностей пресс-форм, поэтому необходимо обращать внимание на параметры поверхностного слоя.

Параметры должны характеризовать геометрию, напряжения и структуру поверхностного слоя. Все в совокупности влияет на формообразующую поверхность и на долговечность пресс-формы. Напряженное состояние зависит от геометрической формы и размеров изделия, а также связано с режимами обработки и свойствами материала [3]. В настоящее время в технологическом процессе не учитывается влияние траектории обработки, которая формирует микрогеометрию поверхности формообразующей детали, что приводит к быстрому износу формообразующих поверхностей и снижению долговечности пресс-формы. Технологический процесс изготовления пресс-форм содержит большое количество операций на высокопроизводительных станках с ЧПУ, так как формообразующие детали пресс-форм имеют сложную пространственную геометрию, что дает возможность более тщательно проработать технологию обработки и получить формообразующую поверхность с оптимальной микрогеометрией. Предлагается использовать метод направленного формообразования шероховатости, которое обеспечивает необходимое качество поверхности для увеличения долговечности. Метод направленного формообразования шероховатости заключается в подборе оптимальной траектории обработки поверхностей сложной формы сферическими монолитными фрезами на станках с ЧПУ.

При фрезеровании существует множество разных стратегий фрезерования, так как стратегия фрезерования определяется параметрами обрабатываемой детали и параметрами резания такими как: скорость, скорость подачи, глубина резания и шаг, которые зависят от используемого инструмента и оборудования. Необходимо обратить внимание на направление и характер и гребешков при фрезеровании сферическим инструментом по криволинейной траектории [4]. Направление гребешка зависит от направления траектории, а высота и форма гребешка зависит от формы обрабатывающего фрезерного инструмента и технологических параметров (рис. 1).

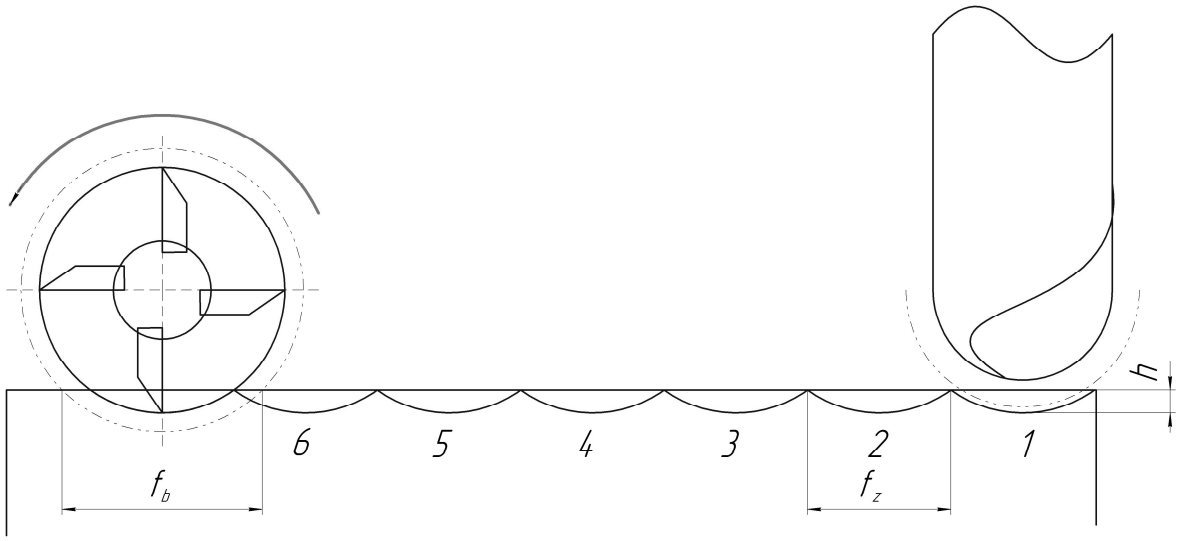


Рис. 1. Параметры формирования гребешка: f_b - величина биения, f_z - величина подачи, h - высота гребешка, $h= f_z/4D$, где D - диаметр обрабатывающего инструмента

Главным образом шероховатость поверхности зависит от таких характеристик как: глубина реза, подача, скорость резания, износ режущего инструмента и использование смазки. Все эти параметры влияют на микрогеометрию поверхности формообразующей детали. Глубина реза влияет на качество поверхности. Увеличение глубины резания увеличивает сопротивление и амплитуду от вибраций. Увеличение подачи увеличивает шероховатость поверхности. Увеличение скорости резания в целом улучшается качество поверхности. Износ инструмента увеличивает динамические явления, такие как вибрации, что приводит к увеличению шероховатости. Смазка, как правило, выгодна в отношении шероховатости поверхности, поскольку это влияет на процесс резания. Все эти общие рекомендации лишь помогают грамотно и корректно составить технологию и программу обработки. Метод направленного фрезерования учитывает не только процесс фрезерования, этот метод, прежде всего, учитывает процесс литья полимерных композиционных материалов.

Для подбора оптимальной траектории, которая позволит обеспечить необходимое качество поверхности необходимо иметь математическую модель детали, для которой производится пресс-форма. Можно указать следующий алгоритм действий по подбору оптимальной траектории при фрезеровании формообразующих поверхностей пресс-форм.

На первом этапе строится математическая модель детали для пресс-формы, назначается материал и его свойства, что поможет точнее спроектировать пресс-форму.

Второй этап состоит в определении главного вектора течения расплава полимерного композиционного материала в детали. Модель течения расплава производится в специальном программном обеспечении, которое учитывает динамику процесса литья при заданных граничных условиях.

Третий этап заключается в построении программы обработки формообразующих поверхностей пресс-формы для станка с ЧПУ. Данный этап полностью основывается на предыдущем, а траектория обработки строится коллинеарно главному вектору течения расплава полимерного композиционного материала в детали.

Предложенная методика позволяет подбирать оптимальную траекторию движения инструмента для формообразующих поверхностей пресс-форм.

Для анализа данной методики была смоделирована упрощенная ячейка из полимерного композиционного материала и заданы свойства стеклопластика, марки

ПА-610 с 20 % стекловолокна. Был определен главный вектор течения расплава с помощью программы SolidWorks Plastics (рис. 2).

Для определения оптимальности траектории были построены две математические модели. В первой модели был смоделирован сценарий процесса литья при фрезеровании формообразующей поверхности сферической фрезой вдоль главного вектора течения расплава (рис. 2а). Вторая модель, напротив, была смоделирована так, что фрезерование проходило поперек главного вектора течения расплава (рис. 2б).

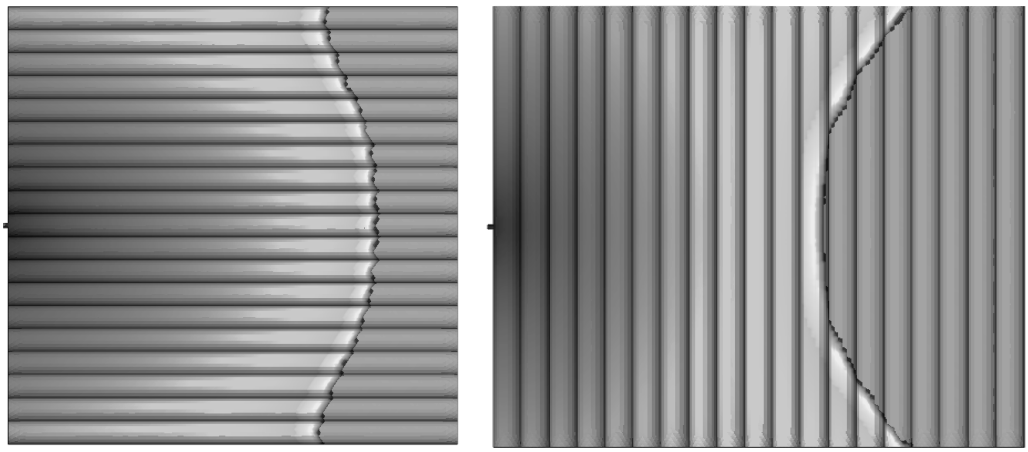


Рис. 2 Визуализация математических моделей литья в SolidWorks -а (слева) и б (справа)

При обработке формообразующих поверхностей сферическими фрезами на станках с ЧПУ, необходимо учитывать характер движения расплава в пресс-форме. При идентичных граничных условиях по математическим моделям заметно что при фрезеровании коллинеарно главному вектору, процент заполнения простейшей ячейки больше, а именно 85 %. Во втором случае, когда фрезерование происходило перпендикулярно главному вектору процент заполнения заметно меньше – 60 %. Таким образом, использование метода направленного формообразования микрогеометрии, обеспечивает необходимое качество поверхности. Процесс заполнения пресс-формы происходит значительно быстрее, так как материалу не нужно преодолевать микронеровности на своем пути, это увеличивает скорость заполнения, уменьшает износ и увеличивает стойкость формообразующих поверхностей пресс-форм.

Проведены сравнительные исследования литья деталей различной геометрии в пресс-формы, обработанные по серийной технологии и по методу направленного формообразования шероховатости. В ходе работы спроектированы одиннадцать деталей, соответственно спроектированы одиннадцать пресс-форм. Пресс-формы простейшей конфигурации состояли лишь из матрицы и пуансона, что существенно упрощает использование метода направленного формообразования шероховатости. Четыре пресс-форм обработаны с помощью метода направленного формообразования шероховатости, остальные обработаны по серийной технологии.

В результате механической обработки матриц и пуансонов получены формообразующие поверхности, которые соответствовали параметрам качества формообразующих поверхностей. В результате экспериментов получены данные об износе пресс-форм в течении длительного времени за шесть месяцев и за год. Пресс-формы работают при большом количестве циклов, поэтому истирание формообразующей поверхности происходит очень интенсивно. Результаты исследований приведены в нижеследующей таблице:

Таблица 1. Показатели параметров качества формообразующих поверхностей пресс-форм

№ п.п	Метод фрезерования	Износ за шесть месяцев, мкм.	Количество циклов за 6 месяцев, тыс.	Износ за год, мкм	Количество циклов за год, тыс.	Средний износ на тыс. циклов, мкм
1.	направленное фрезерование	0	24	2..3	48	0,052
2.	направленное фрезерование	1..2	24	1..2	36	0,051
3.	направленное фрезерование	1..2	24	2..3	50	0,056
4.	направленное фрезерование	2..3	36	3..5	60	0,067
5.	Серийная технология	2..3	36	3..5	70	0,063
6.	Серийная технология	2..3	24	3..4	42	0,094
7.	Серийная технология	2..3	28	3..4	50	0,079
8.	Серийная технология	2..3	28	3..5	60	0,074
9.	Серийная технология	4..5	50	6..8	90	0,083
10.	Серийная технология	5..6	45	6..8	80	0,104
11.	Серийная технология	5..6	40	6..8	78	0,113

На основании экспериментальных исследований было выявлено, что при методе направленного формирования микрогеометрии средний износ на тысячу циклов составляет 0,057 мкм. При серийной технологии, когда обработка происходит без учета параметров течения расплава, средний износ составил 0,087 мкм.

Выводы. Таким образом, при использовании метода направленного формирования микрогеометрии средний износ уменьшился на 35 %. При этом уменьшается время заполнения пресс-формы и увеличивается производительность труда, что напрямую отражается на себестоимости изделия и его конкурентной способности.

Экономический эффект от применения технологии заключается в повышении стойкости пресс-форм, что позволяет сократить количество плановых ремонтов, увеличить производительность труда при этом сохраняя параметры качества поверхностного слоя формообразующих поверхностей.

Для более тщательного изучения данного метода планируется провести экспериментальные работы при использовании различных траекторий обработки поверхностей сложных пространственных деталей пресс-форм на ЧПУ станках. Получить данные о зависимости шероховатости формообразующих поверхностей пресс-форм от метода обработки и количества циклов.

Список литературы: 1. Мовшович А.Я. Повышение надежности и долговечности штампов для разделительных операций листовой штамповки / А.Я. Мовшович, Н.К. Резниченко, Ю.А. Черная [и др.] // «Оборудование и инструмент для профессионалов». Серия «Металлообработка». 2012. №5. С. 232-236. **2.** Караваева Д.Н., Пучков В.П. Повышение стойкости рабочих элементов разделительных штампов // Технические науки - от теории к практике: сб. ст. по матер. X междунар. науч.-практ. конф. – Новосибирск: СибАК, 2012. С. 53-65. **3.** Вишняков М.А., Вашуков Ю.А. Конструкторско-технологические методы обеспечения качества изделий машиностроения: учеб. пособие. Самара: Самар, гос. аэрокосм, ун-т, 2005. 20 с. **4.** Басова Е.В. Описание шероховатости поверхности, обработанной методом высокоскоростного фрезерования // Труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева. 2015. №1. С. 95-100.

ИССЛЕДОВАНИЕ РОЛИ ФУНКЦИОНАЛЬНО ОРИЕНТИРОВАННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ОБРАБОТКИ ШАРОВЫХ ШАРНИРОВ В ИХ НАДЕЖНОСТИ

Михайлов А.Н., Лукичев А.В., Матвиенко С.А., Стрельник Ю.Н., *(Донецкий национальный технический университет, г. Донецк, ДНР, Донецкая академия транспорта, г. Донецк, ДНР)*
Тел. +38 (071) 3690510; E-mail:a_lukichov@mail.ru

Abstract: *The article considers the possibility of using functionally oriented technologies (FOT) to ensure the reliability of ball joints (BJ) of cars. Analysis of the functional surfaces of ball bearings for the implementation of the principles of the function-oriented approach (FOA) allows the use of a number of technologies, both in manufacturing and maintenance and repair (MaR). Thus, reliability is ensured throughout the life cycle of the BJ. It is established that the direction of the vibrational action affects the parameters of the surface layer (SL): microhardness, roughness, surface structure. Synthesis of FOT at each stage of the life cycle is filled with new information content.*
Keywords: *technology, reliability, surface layer, vibration treatment, ball joint*

Постановка проблемы. Анализ последних исследований и публикаций. До тех пор, пока в ДНР не изменится ситуация с дорогами, рынок деталей подвески останется очень привлекательным для любых производителей автокомпонентов и в частности шаровых шарниров. Шаровая опора является максимально часто выходящей из строя (более 30% неисправностей подвески автомобиля) [1, 2]. Шаровой шарнир обеспечивает угловую подвижность в двух плоскостях. При этом осевые силы воспринимаются через полимерный вкладыш сферической поверхностью пальца. Зазор между шарниром и полимерным вкладышем должен отсутствовать, при этом очень тяжело добиться такого сопряжения. По данным заводов производителей и сервисных центров ресурс работы шарового шарнира, расположенного в различных системах автомобиля, а также на автомобилях различных моделей и различных производителей имеет разницу пробега в больших пределах от 15000 км до 120000 – 150000 км.

Шаровой шарнир является тем элементом, который, наряду с амортизаторами и сайлентблоками, обеспечивает все ходовые преимущества современного автомобиля в скорости, динамике разгона и торможения, а также управляемости. Он также применяется в рулевых наконечниках, рулевых тягах и трапециях, в плавающих сайлентблоках, и стойках стабилизатора. Главной причиной нарушения работоспособности шаровой опоры есть сильный износ взаимодействующих поверхностей, что ведет к увеличению зазора между корпусом и пальцем. При чрезмерном износе шаровой опоры ударные нагрузки способны привести к вырыванию пальца из корпуса и прекращению работоспособности автомобиля [3, 4].

Обеспечить полностью функционально-ориентированные свойства (ФОС) зон, поверхностей ШШ в процессе изготовления сложно, так как реальные условия эксплуатации могут существенно отличаться от заданных, необходима их коррекция в процессе ТОиР, в том числе восстановление на новом уровне. То есть ФОП должен сопутствовать деталям ШШ на протяжении всего жизненного изделия: от конструирования и изготовления, до исчерпания полного срока эксплуатации и утилизации [5, 6]. Осуществить ФОП к созданию и обеспечению ФОС на протяжении всего срока службы можно только за счет создания и реализации новых комбинированных ФОТ [7, 8, 9].

Цель исследования. Проанализировать применение ФОТ к деталям типа ШШ и исследовать изменения характеристик ПС при реализации акустической отделочно-упрочняющей обработки в квазиупругой среде (АООКУС).

Материалы и результаты исследований. Основой реализации ФОТ ШШ являются параметры надежности. Ограниченность традиционных методов расчета надежности заключается в том, что эти методы детально разработаны лишь для экспоненциального распределения наработки на отказ и времени возобновления. Перечисленные выше проблемы устранимы, если для исследования надежности всех элементов автотранспортных средств (АТС)

и системы ТОиР использовать метод имитационного (статистического) моделирования. Одним из основных вопросов при организации систем ТОиР АТС является выбор распределения отказов. В настоящее время основой такого выбора является обобщение и перенесение опыта (в форме статистических данных наработки на отказ, особенно в таких широких пределах, как у ШШ, и т.п.), накопленного в ходе эксплуатации рассматриваемых или аналогичных технологических систем, на рассматриваемую систему (проектируемую, испытываемую и т.д.). Реализация предложенного комплексного подхода для ШШ нуждается в создании единой базы статистических и диагностических данных, которая должна существовать в общем информационном пространстве и быть основой для принятия решений и управления ФОТ, которые непосредственно влияют на надежность ШШ АТС. Чтобы система ТОиР в рамках ФОТ стала работающим инструментом, механизмом получения необходимого результата, нужно разрабатывать порядок взаимодействия элементов системы [10].

В работах [11, 12] на этапе финишной обработки предлагается использовать метод виброрезонансной обработки – АООКУС. Этот метод не изменяет макрогеометрию сложной шаровой поверхности, зато позволяет изменить свойства ПС (шероховатость, микротвердость, структуру, топографию) в заданных зонах. АООКУС относится к отделочно-упрочняющей обработке (ОУО) без снятия припуска металла. Поэтому для достижения заданного качества ПС и точных размеров детали ему должен предшествовать один из видов размерной обработки резанием. Сущность АООКУС состоит в действии механических резонансных колебаний звукового частотного диапазона на деталь, погруженную в квазиупругую среду.

Для исследований было предложено провести эксперимент на алюминии АД-0 ГОСТ 4784-97. Образец был взвешен и исследован по параметрам микротвердости и шероховатости до обработки. В качестве образца использовалась пластина габаритами 20х60х7 мм. После оценки образец был обработан методом виброрезонансной обработки – АООКУС. Обработка проводилась в минеральном масле на установке для виброрезонансной обработки – АООКУС. Длительность обработки составила 15 минут, при резонансной частоте. Основные результаты эксперимента приведены в [4], а показатели микротвердости и шероховатости ПС приведены в таблицах 1 и 2.

Таблица 1. Микротвердость для АД0 после обработки на резонансной частоте 3800 Гц, HR

№	Обрабатываемая поверхность	Время обработки на резонансной частоте, мин			
		0	5	10	15
1	Торцевая нижняя	84	89	94,5	97
2	Торцевая верхняя	84	87	92	94,5
3	Боковая	84	86	88	89,5

Таблица 2. Результаты измерений шероховатости поверхности пластин после обработки в упругой среде, *Ra*, мкм (И-40, объем 500 мл, частота 3800Гц)

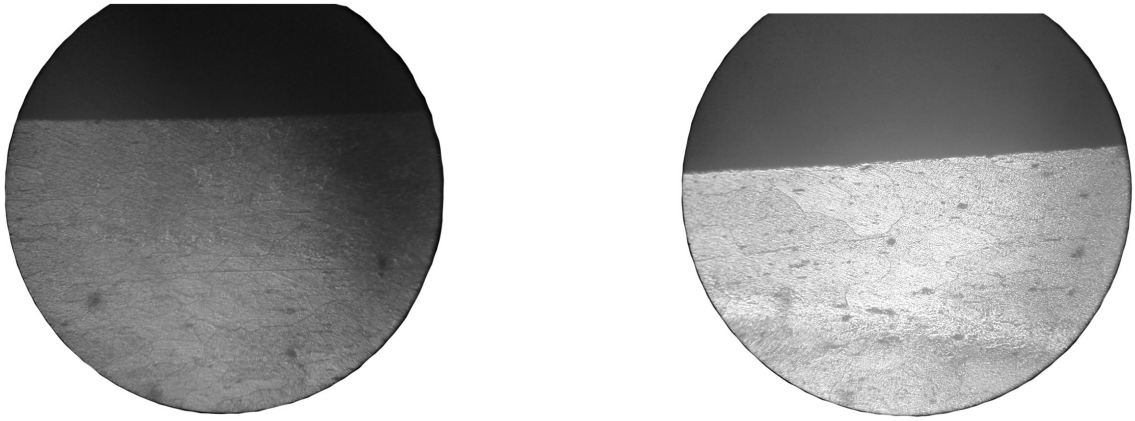
№	Обрабатываемая поверхность	Время обработки на резонансной частоте, мин			
		0	5	10	15
1	Торцевая нижняя	1,745	1,540	1,440	1,210
2	Торцевая верхняя	1,760	1,580	1,470	1,290
3	Боковая	1,63	1,54	1,49	1,38

По полученным результатам делаем выводы:

а - самый большой эффект при обработке в резонансной частоте, на протяжении 10-15 минут, (при увеличении времени значения твердости будет продолжать возрастать но менее существенно); б - увеличение объема рабочей среды положительно влияет на твердость обрабатываемого ПС, в то время как на показатели шероховатости такое влияние имеет уменьшение объема; в - максимальное влияние обработки на поверхностях перпендикулярных направлению колебаний, т.е. влияние нормальных напряжений, превышает влияние ка-

сательных напряжений; г - наибольшее увеличение твердости происходит в резонансном режиме. Следовательно, для достижения рациональных показателей твердости и качества поверхности необходимо найти оптимальное значение всех параметров ФОТ.

Для оценки состояния непрозрачной поверхности заготовки были подготовлены микрошлифы. Для этого образец был разделен на контрольную и экспериментальную части. Одна была направлена на обработку АООКУС. После этого обе части заготовки подвергли распиливанию и доводке ПС до необходимой шероховатости, соблюдая меры предосторожности от нагрева. Чтобы выявить структуру, был создан рельеф химическим травлением. Визуальные исследования обработанной и необработанной поверхностей производились на металлографическом микроскопе МИМ 7 с кратностью увеличения от 16 до 1440. Результаты визуального исследования представлены на рисунке до обработки рис.1 а и после обработки рис.1 б. АООКУС позволяет получить топографию обрабатываемой поверхности близкую к рациональной (эксплуатационной). Получаемый рельеф обеспечивает: высокую фактическую площадь контакта; минимальную удельную нагрузку на поверхность, вследствие увеличения опорной длины профиля; рациональную маслоёмкость поверхности, за счёт большего количества микровпадин с плавными краями; и соответственно высокую износостойкость деталей.



а) б)

Рис. 1. Поверхность образца до обработки (а) и после обработки (б)

Обработанные детали (полирование + АООКУС) имеют поверхность с зеркальным блеском без следов предыдущей операции (или со сглаженными следами), царапин, прожогов, шагреневых участков и других дефектов. При этом наблюдается образование рабочих поверхностей с субмикрорельефом, залечивающим дефектные зоны.

В современном состоянии теория надежности включает два основных блока: «физический» и «математический». Физическая составляющая рассматривает отказы объектов, связанные с процессами старения, изнашивания, разрушения, т.е. причины, приводящие к снижению работоспособности изделия и выходу его из строя. Повышение надежности ШШ может достигаться внесением улучшений в конструкцию, в условия эксплуатации, в управление ресурсом, а главное в ФОТ изготовления и ремонта.

Задача математической составляющей теории надежности заключается в разработке математических методов оценки и анализа тех же самых причин, которые являются причинами отказов. Это позволяет методами статистики установить «узкие места» системы ТОиР АТС, т.е. выделить те элементы, которые приводят к отказу системы в целом. Такая информация является постановкой задачи для внесения изменений в конструкцию и технологию ШШ. В то же время информация о том, что определенная деталь, узел, агрегат, например ШШ, наиболее часто выходит из строя, позволяет оценить объем запасных частей для обеспечения работоспособности системы в целом.

Т.о. эти два блока дополняют друг друга и при согласованном обмене информа-

цией обеспечивают разработку рекомендаций по дальнейшему повышению надежности системы ТОиР на базе ФОТ. Но эти блоки концептуально различаются. Физическая составляющая рассматривает отказ как следствие, наступившее в результате действия ряда причин, т.е. под отказом понимается детерминированный процесс. Математическая составляющая рассматривает отказ как случайное событие, а поток отказов - как случайный процесс, который может быть описан статистическими зависимостями [10].

Выводы: Основными причинами возникновения дефектов ШШ при эксплуатации являются: изменение геометрических параметров; износ по массе; пластические деформации; усталостные разрушения; коррозия; физико-химическое изменение материала детали. Эти дефекты можно существенно сократить при использовании ФОП к созданию новых ФОТ с включением АООКУС. Именно ФОП превращают набор отдельных элементов ТОиР в систему технической эксплуатации. Огромное количество элементов системы ТОиР делает множество связей настолько большим и разнообразным, что задача организации связей между факторами является одной из самых сложных задач в методологии. Однако только таким образом можно обеспечить надежность, как ШШ, так и других элементов ходовой части и АТС в целом.

Список литературы: **1.** Раймпель, Й. Шасси автомобиля: Конструкции подвесок [Текст] / Раймпель Й // Пер. с нем. В. П. Агапова. – М.: Машиностроение, 1989. – 328 с. **2.** Родионов Ю.В., Войнов А.А. Анализ причин отказов шаровых опор легковых автомобилей / Интеллект. Инновации. Инвестиции. – 2017. - № 4 – С. 79-83. **3.** Радченко С.Ю., Новиков А.Н., Катунин А.А., Тебекин М.Д. Анализ видов повреждений шаровых шарниров / Мир транспорта и технологических машин. – 2012 - № 1 – С. 8-13. **4.** Михайлов А.Н., Лукичев А.В., Матвиенко С.А., Стрельник Ю.Н. Реализация функционально-ориентированного подхода к финишной обработке шаровых опор на основе направленной виброрезонансной обработки // XVII Всероссийская с международным участием научно-техническая конференция "МЕХАНИКИ XXI ВЕКУ" Братск, 2018. – С. 215-220. **5.** Суслов А.Г. Инженерия поверхности деталей / А.Г. Суслов [и др.]; под ред. А.Г. Суслова. – М.: Машиностроение, 2009. – 320 с. **6.** Михайлов А.Н., Лукичев А.В., Костенко А.В., Сакно О.П. Функционально ориентированный подход к системе технологических воздействий при техническом обслуживании и ремонте транспортных средств / Механики XXI веку: научное периодическое издание по материалам XV1 всеросийской науч.-техн. конф. с международным участием, Братск – Братск: ФГБОУ ВО «БрГУ» 2017. – №16. – С. 27-33. **7.** Mikhaylov, A. General approach to development of machine building composition technologies / A. Mikhaylov, A. Nedashkovskiy, D. Mikhaylov // ModTech International Conference 24-26 May 2012. – Sinaia: Romania, 2012. – Vol. II. – P. 577–580. **8.** Greitemann, J. Technology lifecycle-oriented search for production technologies [Text] / J. Greitemann, M. A. Zaggl, M. Hehl, C. Raasch, G. Reinhart // CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology. – 2017. – Vol. 16, January. – P. 21–33. **9.** Weckenmann, A. Function-oriented Measurements – The Path from Macro to Micro and Nano Range [Text] / A. Weckenmann, W. Hartmann. – Procedia Engineering. – 2013. – Vol. 63. – P. 861–872. **10.** Сакно О.П., Лукичев А.В. Анализ надежности систем технической эксплуатации средств транспорта на базе статистики накопления погрешностей и отказов // Проблемы автомобильно-дорожного комплекса России: [Текст]: материалы X междунар. науч.-техн. конф. 17 ноября 2014 г., Пенза / [редкол.: Э.Р. Домке (отв. ред.) и др.]. – Пенза: ПГУАС, 2014. – С. 242-250. **11.** Лукичев А.В., Матвиенко С.А., Стрельник Ю.Н. Оптимизация финишной обработки деталей за счёт применения способа акустической ОУО в квазиупругих средах / Les problèmes contemporains de la technosphère et de la formation des cadres d'ingénieurs // Recueil des exposés des participants de la IX Conférence internationale scientifique et méthodique à Soukhoum (Abkhazie), 01 - 09 octobre 2016. – Donetsk : UICM, 2016. – p. 128-131. **12.** Матвиенко С.А. Технологическое обеспечение качества поверхностного слоя деталей машин на основе акустической отделочно-упрочняющей обработки в квазиупругих средах / Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук, ДонНТУ, г. Донецк: 2016. - 194 с.

XXV МЕЖДУНАРОДНАЯ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ «МАШИНОСТРОЕНИЕ И ТЕХНОСФЕРА XXI ВЕКА», ТРАДИЦИЯ В ЧЕТВЕРТЬ ВЕКА

Михайлов А.Н. *(ДонНТУ, г. Донецк, ДНР)*
Тел./Факс: +38 (062) 3050104; E-mail: tm@fimm.donntu.org

Abstract: *In the given work the data on the main features of the organization and the work of international scientific and technical conference "Mechanical Engineering and Technosphere of the XXI Century", held every September for 25 years in the city of Sevastopol. Here are some details about the participants of the conference, published materials and topics. The article shows the main stages in the development of this conference.*
Key words: *science, technology, conference, engineering and traditions.*

В этом году уже в двадцать пятый раз в городе Севастополе проводится традиционная юбилейная XXV международная научно-техническая конференция «Машиностроение и техносфера XXI века». Это, конечно, большое, значимое и знаковое событие для подобных мероприятий, которое позволяет консолидировать ученых, специалистов, представителей промышленных предприятий для содействия развитию машиностроения и техносферы в условиях видоизменяющейся глобальной экономики. А также проведение этой встречи позволяет наметить основные ориентиры, определить вектор прогрессивного развития машиностроения и техносферы, а также подвести итоги развития новой техники и технологий.

Главным в работе данной конференции является обмен научно-технической информацией, определение перспективных путей создания и развития новой техники и технологий, разработка совместных научных программ, развитие международного сотрудничества, установление деловых контактов и коммерческих связей в данной области.

Начало проведения этих конференций состоялось в далеких 90-х годах прошлого века. В 1993 году инициативной группой ученых Донецкого национального технического университета было принято решение о проведении научно технических конференций по проблемам машиностроения в городе Севастополе.

То было очень сложное время, характеризующееся началом становления независимых государств и возникающими проблемами в экономике. В те годы на Украине и в странах СНГ образовался информационный вакуум в области научно-технического развития машиностроения. Это было обусловлено переходными процессами и особенностями развития государств. Поэтому при организации этой научно-технической конференции организационный комитет стремился восполнить возникший информационный пробел в машиностроении, связанный с отсутствием данных по научному прогрессу. И это планировалось выполнять, прежде всего, за счет общения и личных контактов ученых, специалистов, представителей промышленных предприятий и деловых кругов.

20–23 сентября 1994 г. в городе Севастополе была проведена I научно-техническая конференция **«Новые технологии и системы обработки в машиностроении»** [1]. Для работы конференции была издана программа и тезисы докладов на 150 страницах. При этом на конференцию было представлено 136 докладов.

Работа этой конференции базировалась на площадях главного корпуса и общежития Севастопольского строительного техникума. В то время на конференцию прибыли делегаты из трех стран СНГ, а именно Беларуси, России и Украины, всего 62 участника из 27 городов, представляющие различные организации. При проведении

этой конференции организационный комитет стремился к тому, чтобы эта встреча дала творческий толчок к дальнейшему развитию инженерной мысли, поиску нетрадиционных подходов, новых принципов создания и реализации прогрессивных технологий в машиностроении. Поэтому эта конференция прошла особенно творчески и плодотворно. Здесь, между участниками конференции были налажены творческие научно-технические связи, которые в перспективе реализовались в дальнейшем научно-техническом сотрудничестве.

В числе участников I научно-технической конференции «Новые технологии и системы обработки в машиностроении» можно отметить следующих наиболее творческих представителей:

- профессора, д.т.н. Суслова А.Г. из Брянского государственного технического университета, который ежегодно прибывает на конференции, возглавляет большие делегации из Брянска (в настоящее время работает в Московском государственном индустриальном университете), активно работает в программном и организационном комитетах конференции;

- профессора, д.т.н. Захарова Н.В. из Сумского государственного университета, который в то время оказал существенную поддержку и помощь в организации и проведении этой конференции;

- профессора, д.т.н. Бохонского А.И. из Севастопольского национального технического университета, который постоянно поддерживает работу конференции, является членом программного комитета конференции, активно руководит работой секций конференций, дает дельные советы и рекомендации по организации конференции;

- профессора, д.т.н. Стрельникова В.Н. из АОЗТ «НКМЗ» (г. Краматорск), который начиная с первой конференции, активно участвует в ее работе, публикует значительные работы в области тяжело нагруженных зубчатых передач нового поколения, пропагандирует научно-технические достижения предприятия, оказывает помощь в организации и проведении конференции;

Особенно хочется подчеркнуть активную работу на конференции следующих профессоров, д-ров техн. наук: Арпентьева Б.М. (г. Харьков), Берника П.С. (г. Винница), Витренко В.А. (г. Луганск), Болотнова С.А. (г. Москва), Воронова В.Н. (г. Ковров), Зиновьева Н.И. (г. Краматорск), Кравченко П.Д. (г. Волгодонск), Любченко А.П. (г. Харьков), Малышко И.А. (г. Донецк), Павленко А.В. (г. Харьков), Сопилкина Г.В. (г. Донецк), Родина П.Р. (г. Киев), Хандожко А.В. (г. Брянск), Прокофьева А.Н. (г. Брянск), Сухорукова Ю.Н. (г. Одесса) и других ученых и специалистов. Можно отметить, что в то время многие из этих профессоров и докторов наук еще не имели этих ученых званий и степеней. Однако именно этими учеными была оказана значительная помощь в организации I научно-технической конференции «Новые технологии и системы обработки в машиностроении».

Не менее важную и значительную помощь конференции оказывали доценты и кандидаты технических наук, прибывшие на данную встречу, а именно: Гафанович Г.Я. (г. Харьков), Байков А.В. (г. Донецк), Богуславский В.А. (г. Донецк), Витренко А.Н. (г. Луганск), Бабин О.Ф. (г. Краматорск), Ивченко Т.Г. (г. Донецк), Молчанов А.Д. (г. Донецк), Лукичев А.В. (г. Донецк), Луцкий С.В. (г. Харьков), Петтик Ю.В. (г. Донецк), Сурнин Ю.М. (г. Луганск) и многие другие ученые и специалисты.

Можно отметить, что организация I научно-технической конференции «Новые технологии и системы обработки в машиностроении» была успешно выполнена благодаря творческой работе организационного комитета, который провел серьезную работу по приглашению участников конференции и организации ее работы. В то время, интернета и электронной почты в наших странах еще не было, и информация о

конференции распространялась с помощью обычной почты и телефона. Поэтому организационному комитету пришлось решить сложную, но необходимую задачу приглашения участников конференции.

Следует представить членов организационного комитета I конференции: Михайлов А.Н. (председатель), Луцкий С.В. (заместитель председателя), Ищенко А.Л. (ученый секретарь), Мизин Б.М., Петтик Ю.В., Гусев В.В., Голяс Н.С., Скорик А.Е., Стрельников В.Н., Лихота Л.К. Дополнительно можно отметить, что в работе организационного комитета в городе Севастополе приняли активное участие Лукичев А.В., Гафанович Г.Я., делегация из Брянска и сотрудники Севастопольского строительного техникума. Именно на этих членах организационного комитета лежала основная работа по организации и творческому проведению первой конференции.

На заключительном заседании конференции было принято решение, продолжить практику проведения подобных встреч, и в 1995 г. провести следующую конференцию, причем также в городе Севастополе. Так как на конференцию прибыли делегаты из 3 государств СНГ было принято решение - следующую конференцию организовать международного уровня. Поэтому все следующие конференции организовывались с международным участием ученых и специалистов из различных стран.

II международная научно-техническая конференция получила новое название **«Прогрессивная техника и технологии машиностроения»** и состоялась 12-15 сентября 1995 года в городе Севастополе [2]. Эта конференция являлась продолжением начатых ранее встреч на предыдущей конференции. Особенностью этой конференции было то, что, не смотря на трудное время для ее проведения, откликнулся широкий круг желающих участвовать в ней специалистов, организаций и предприятий. Это было обусловлено, прежде всего, большой заинтересованностью всех в расширении сотрудничества и возросшей потребностью в обмене информации научно-технического характера. При организации этой конференции организационный комитет был уверен, что данная встреча послужит связующим звеном для плодотворного сотрудничества участников встречи, а также даст новый творческий импульс для дальнейшего продуктивного создания и развития прогрессивной техники и технологий машиностроения.

На эту встречу прибыли делегаты из восьми стран – Беларуси, Молдовы, России, Украины, Латвии, Польши, Великобритании и Румынии. Был издан сборник тезисов докладов на 319 страницах, в нем представлено 315 докладов в области машиностроения и смежных отраслей народного хозяйства.

Можно отметить, что на эту встречу значительно шире, чем на предыдущую конференцию, прибыли делегаты из различных организаций Беларуси. Активное участие в этой конференции и последующих конференциях приняли участие профессора, доктора технических наук: Басинюк В.Л., Берестнев Я.О., Ишин Н.Н., Ильющенко А.Ф., Оковитый В.А., Ящерицын П.И., Хейфец М.Л., Пантелеенко Ф.И. и многие другие ученые и специалисты.

Следует отметить, что на этой конференции активно участвовали: ученые из Польши, во главе с профессором Войнаровским Ю. (г. Гливице); делегация ученых из Румынии, которую возглавлял профессор Прутяну О. (Яссы); специалисты из Великобритании, которых возглавлял профессор Оливер Т. (Портсмут); делегация из Латвии (г. Рига) и делегация из Молдовы, возглавляемая профессором Тока А. (г. Кишинев). Не менее активно принимали участие в работе данной конференции участники из Украины, Беларуси и России.

Здесь можно подчеркнуть, что с этого периода началось сотрудничество Донецкого национального технического и Таганрогского радиотехнического

университета. Поэтому конференцию активно стали посещать ученые и специалисты из Таганрога, возглавляемые профессором, д-ром техн. наук Бутенко В.И.

Основной особенностью этой конференции было то, что на этой встрече обеспечивалась возможность для совместного продуктивного обсуждения насущных проблем, обмена информации научно-технического характера, развития международного сотрудничества и установления деловых контактов. Поэтому важной ценностью этой конференции было то, что ее участники могли продолжить развитие творческих связей, а также получить информацию о последних достижениях науки и техники благодаря личным контактам ученых из различных стран, прибывшим на эту встречу. Эта встреча также прошла творчески и плодотворно в научном плане.

На заключительном заседании конференции было отмечено, что подобные встречи особенно полезны для молодых ученых и специалистов, которые только начинают свою научную деятельность. Именно здесь они могут познакомиться с основными научными направлениями исследований различных научных школ в машиностроении, познакомиться с будущими научными руководителями и представить результаты своих исследований. Но такие конференции не менее важны и для ведущих ученых и инженеров, так как способствуют развитию творческих связей и выработке совместных проектов в различных областях научной деятельности. Поэтому главной рекомендацией в заключении этой конференции прозвучало повторение опыта проведения данной конференции в следующем году в сентябре в городе Севастополе.

Следующая, III международная научно-техническая конференция также имела новое название **«Современные проблемы машиностроения и технический прогресс»** и снова прошла в городе Севастополе 10-13 сентября 1996 года [3] (рис. 1).

Рис. 1. Участники III международной научно-технической конференции после Пленарного заседания в Севастопольском строительном техникуме

Проведение этой конференции было вызвано стремлением ее участников к обогащению знаний о техническом прогрессе в машиностроении, углублению сложившихся и стимулированию новых творческих связей, которые наиболее полно могут быть реализованы за счет личных контактов и взаимного общения ведущих ученых и специалистов данного направления.

Главной особенностью этой встречи являлось то, что она была ориентирована на интеграцию ее участников в общие мировые процессы создателей новой техники и технологий. Это было обусловлено возросшей необходимостью более широкого развития творческих связей, выработки и выполнения совместных проектов, а также восполнения информационного пробела в различных областях машиностроения.

На эту конференцию прибыли участники из Украины, России, Беларуси, Молдовы, Киргизстана, Латвии, Великобритании, Румынии и Польши. Для работы конференции был издан сборник тезисов докладов на 402 страницах, в нем представлено 377 докладов в области машиностроения и смежных отраслей народного хозяйства.

Можно подчеркнуть, что на этой встрече значительно расширилось количество участников конференции из различных стран. В частности, увеличилось число участников из Польши, при этом активно включился в ее работу профессор Бухач А., Калински В. и Адамчик Я. (г. Гливице), которые в дальнейшем постоянно участвуют во всех проводимых в городе Севастополе конференциях. А также из Ростова-на-Дону (Россия) начинает приезжать профессор, д.т.н. Бабичев А.П.

Представленные в сборнике тезисов докладов статьи освещали вопросы теории и практики обработки изделий прогрессивными методами, показывали достижения и пути развития технологического оборудования и металлорежущего инструмента. Здесь, были рассмотрены некоторые закономерности развития новых технологий и отдельные

Рис. 2. Участники III международной научно-технической конференции на экскурсии по Южному берегу Крыма

аспекты автоматизации производственных процессов. А также представлен опыт вузов, ведущих организаций и предприятий в области проектирования, изготовления и эксплуатации технологических систем.

В целом данная конференция также прошла творчески и плодотворно. Она способствовала широкому развитию творческих связей, углублению сотрудничества и обмену информации о последних достижениях науки и техники. В период работы конференции проводились экскурсии по Крыму (рис. 2) и реализовывались спортивные мероприятия (рис. 3).

Можно отметить, что вторая половина 90-х годов прошлого века были не самыми благополучными для народного хозяйства Украины и стран СНГ. В целом было немало трудностей и в машиностроении. Сузилась сфера обмена научно-технической информации, обострились внутренние противоречия экономики и

Рис. 3. Спортивная программа IV международной научно-технической конференции (соревнования побегу между участниками из Украины и Великобритании)

производства, многие заводы находились на грани остановки, значительно снизился объем выпуска промышленной продукции. В этих условиях, в 1997 году, была проведена IV международная научно-техническая конференция **«Прогрессивные технологии машиностроения и современность».** Данная конференция традиционно проводилась в городе Севастополе 9 – 12 сентября [4].

Для повышения эффективности проведения этой встречи организационный комитет активно работал над привлечением к ней ученых и ведущих специалистов различных областей машиностроения. Способствовал широкому вовлечению в этот процесс промышленных предприятий и организаций. Стремился к обеспечению условий для возникновения перспективных связей науки и производства, улучшающих использование научного потенциала ученых и возможностей производства.

Главным в работе этой конференции предусматривалось пропаганда новых прогрессивных достижений в области создания высокоэффективных технологических процессов, оснастки и оборудования, а также продуктивный обмен информации научно-технического характера.

Для участия в этой конференции прибыли делегаты из семи стран – Беларуси, России, Украины, Латвии, Литвы, Чехии и Польши. Был издан сборник трудов на 358 страницах, в нем представлено 312 докладов в области машиностроения и смежных отраслей народного хозяйства. Большую помощь в организации этой конференции оказали руководители предприятий и организаций, которые прибыли на встречу и приняли активное участие в ее работе. А также существенную поддержку в работе конференции проявила Донецкая областная государственная администрация.

Следует отметить, что в 90-х годах прошлого века в России, под руководством профессора, д.т.н. Базрова Б.М., началось развитие нового научного направления в технологии машиностроении – «Модульные технологии». Эти технологии относятся к технологиям нового поколения, которые имеют принципиально новый технический уровень и относятся к новой организационно технологической форме технологий. Для широкого информирования участников встреч о последних достижениях в технологии машиностроения на конференцию был приглашен профессор, д.т.н. Базров Б.М., который впоследствии начал постоянно участвовать в данных конференциях. Этот опыт в дальнейшем был использован при проведении следующих конференций для информирования ее участников о последних достижениях в других областях машиностроения и техносферы. Поэтому далее, на конференции начали приглашать ведущих ученых с докладами по новым научным направлениям науки и техники.

При организации этой встречи организационный комитет был убежден, что в современных условиях обмен мнениями и общение ученых, ведущих специалистов и представителей деловых кругов, проходящими в рамках этой встречи, дадут новые импульсы к творческому поиску нетрадиционных подходов для реализации прогрессивных технологий и развития машиностроения. Поэтому эта встреча была проведена на высоком научно техническом уровне и с продуктивной работой.

Рис. 4. Участники V международной научно-технической конференции в Севастопольской бухте возле памятника Затопленным кораблям

Следует отметить, что в проведении данных конференций начали активно участвовать ученые и специалисты из других, смежных с машиностроением отраслей народного хозяйства, которые можно объединить под общим понятием техносфера. Поэтому на заключительном заседании было принято решение - следующие конференции проводить с названием «Машиностроение и техносфера на рубеже XXI века».

На основании принятого ранее решения, 1998 ... 2001 годы были организованы V ... VIII международные научно-технические конференции в г. Севастополе с общим названием

«Машиностроение и техносфера на рубеже XXI века» [5] (рис. 4).

Основной особенностью работы этих конференций являлось более широкое привлечение ведущих ученых и специалистов из различных стран, способствование развития международного сотрудничества, более широкое привлечение к работе конференции молодежи, специалистов с промышленных предприятий и организаций, а также широкий обмен информации научно-технического характера между участниками конференции.

Именно в этот промежуток времени у ее участников возникло целый ряд инициатив и предложений, а именно следующих.

Начиная с V конференции, было увеличено число страниц статей участников конференции. Поэтому сборники трудов конференции начали издавать в количестве 3 ... 6 томов, количество которых варьировалось в разные годы (рис. 5).

Рис. 5. Организационный комитет конференции и Издательство Машиностроение в процессе работы на XII конференции

В 2000 году на VI международной научно-технической конференции была создана международная общественная организация Международный союз машиностроителей, которая в настоящее время объединяет специалистов из 21 страны, в которых работают Представительства этой международной организации. В настоящее время общее количество членов Международного союза машиностроителей уже превышает 70000 представителей из различных стран.

Основной целью работы Международного союза машиностроителей является консолидация ученых, специалистов и представителей промышленных предприятий различных стран для содействия процессу дальнейшего развития машиностроения и техносферы в условиях видоизменяющейся глобальной экономики.

Деятельность Международного союза машиностроителей это многогранная комплексная работа, которая направлена на решение следующих основных задач:

- создание международных структур, способных содействовать решению совместных межгосударственных проблем машиностроения и техносферы в условиях видоизменяющейся глобальной экономики;

- содействие разработке и реализации международных специальных комплексных программ и проектов развития машиностроения и техносферы в условиях видоизменяющейся глобальной экономики;

- содействие в оказании консультационных услуг машиностроительным предприятиям в условиях процесса экономических реформ;

- содействие в установлении перспективных связей между машиностроителями

Рис. 6. Участники XII международной научно-технической конференции на морской экскурсии по бухтам Севастополя

различных стран;

- распространение информации о последних достижениях науки и техники в области машиностроения и техносферы в целом;

- оказание помощи в области инженерного образования в условиях глобальной экономики;

- содействие в решении вопросов международной экологической безопасности и охраны окружающей среды в области машиностроения и техносферы;

- оказание помощи членам Международного союза машиностроителей в решении ключевых научно-технических проблем, использование передового международного опыта управления и хозяйствования, реализация перспективных идей и предложений, способствование повышению эффективности экономики различных стран;

Рис. 7. Секционное заседание на XIII международной научно-технической конференции (руководитель профессор Левченко Г.Г.)

Рис. 8. Участники XIII международной научно-технической конференции на Пленарном заседании в Севастопольском Деловом и культурном центре

- защита социальных, экономических прав и интересов членов Международного союза машиностроителей, создание необходимых социальных и правовых гарантий для их творческой деятельности;

Рис. 9. Доклад профессора Христафоряна С.Ш. (Армения) на секционном заседании на XIII международной научно-технической конференции

Рис. 10. Участники XIV международной научно-технической конференции после Заключительного заседания

- организация международных выставок, семинаров, конференций, ярмарок и других мероприятий.

В это время, а именно в 2000 году был начат выпуск студенческого научно-технического журнала «Инженер», организовывались и проводились конференции, семинары и встречи в других университетах, в том числе и студенческие конференции. Это выполнялось для развития сотрудничества, широкого обмена информации научно-технического характеров, а также вовлечения молодежи в исследовательские процессы.

В целом все конференции проводились на высоком научно-техническом уровне и характеризовались широким участием ученых и специалистов из различных стран. В 2001 году, на заключительном заседании конференции, было принято решение по уточнению названия конференции, при этом было введено следующее ее название «Машиностроение и техносфера XXI века».

В 2002 ... 2012 годах были проведены IX ... XIX международные научно-технические конференции **«Машиностроение и техносфера XXI века»** [6] (рис. 5 ... 14). Все одиннадцать этих конференций проводились в городе Севастополе на базах

Рис. 10. Участники XIV международной научно-технической конференции после Заключительного заседания

Севастопольского делового и культурного центра, Севастопольского строительного техникума, Севастопольского центра профессионально-технического образования и пансионата «Песчаная бухта» (старое название - пансионат «Строитель»).

Основная тематика проведения этих конференций следующая:

1. Практика и перспективы создания и применения прогрессивных и нетрадиционных технологий. Интегрированные технологии. Сборка в

машиностроении, приборостроении. Абразивные и виброабразивные технологии.

2. Механизация и автоматизация производственных процессов. Прогрессивное оборудование.

3. Комплексная автоматизация проектирования, подготовки и управления производством. Экономические проблемы техносферы.

Рис. 11. Экскурсии участников XIV международной научно-технической конференции по Крыму

Рис. 12. Профессор Курбанов Х.К. (Туркменистан) и доцент Шаповалов Р.Г. (Россия) регистрируются на XVI международной научно-технической конференции

Рис. 13. Профессор Петраков Ю.В. (Украина) докладывает на Пленарном заседании XVII международной научно-технической конференции

4. Проблемы создания и применения прогрессивных инструментов и инструментальных материалов.

5. Управление качеством продукции и технических систем. Проблемы инженерии поверхностного слоя изделий.

6. Современные проблемы машиноведения и деталей машин.

7. Современные проблемы инженерии материалов, процессов и материаловедения в машиностроении. Упрочняющие технологии и покрытия изделий машиностроения. Наноматериалы и нанотехнологии.

8. Вопросы моделирования и расчетов технических систем.

9. Специальная техника и технологии техносферы. Экологические проблемы техносферы.

10. Современные проблемы инженерного образования. Евроинтеграция в образовании.

Основной особенностью проведения этих конференций являлось непрерывное увеличение географии участников конференции. В этот период

число стран, из которых прибывали участники на каждую конференцию, увеличилось до восемнадцати. При этом в сборниках трудов каждой конференции публикуются ученые и специалисты уже из 25 – 30 стран (рис. 15). Этот период работы конференций характеризуется активным развитием международного сотрудничества между участниками конференций, организацией и проведением новых конференций в различных странах, взаимными поездками участников конференций на международные конференции, присвоением почетных званий и в целом консолидацией ее участников.

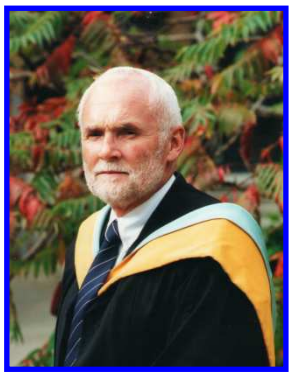
Рис. 14. Профессор Бухач А. (Польша) докладывает на Пленарном заседании XVII международной научно-технической конференции

В частности, в 2008 году, Донецкий национальный технический университет начал проведение ежегодных международных научно технических конференций в Тунисе «Современные проблемы техносферы и подготовки инженерных кадров». Целью этих конференций является обмен научно-технической информацией, определение перспективных путей создания и развития новой техники и технологий,

Рис. 15. Материалы трудов международных конференций

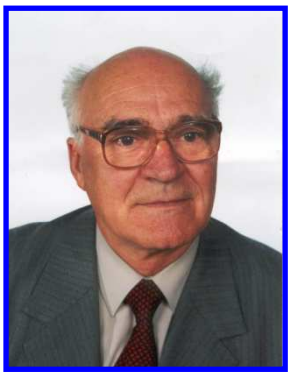
рассмотрения вопросов подготовки инженерных кадров в современных условиях, интеграции в Европейскую систему университетского образования, разработка совместных научных программ, развитие международного сотрудничества, установление деловых контактов и коммерческих связей в данной области.

А также для развития сотрудничества между университетами, Донецкий национальный технический университет (ДонНТУ) начал привлекать ведущих специалистов и профессоров из разных стран мира для чтения лекций студентам, магистрантам и аспирантам. А именно (рис. 16): почётного доктора ДонНТУ Терри Оливера (Англия), почётного доктора ДонНТУ проф. Захаревича В.Г. (Россия), почётного доктора ДонНТУ проф. Прутяну О. (Румыния), почётного доктора ДонНТУ проф. Суслова А.Г. (Россия), почётного доктора ДонНТУ проф. Тока А. (Молдова), профессора МГТУ им. Баумана Волчкевича Л.И. (Россия). Это сотрудничество ученых началось благодаря творческим контактам, возникшим на международных научно-техническим конференциях, проводимых в городе Севастополе.



профессор
Теренс Оливер
(Англия)

профессор
Захаревич В.Г.
(Россия)



профессор
Прутяну О.
(Румыния)

профессор
Суслов А.Г.
(Россия)

профессор
Тока А.
(Молдова)

профессор
Волчкевич Л.И.
(Россия)

Рис. 16. Почетные профессора Донецкого национального технического университета и участники конференций в городе Севастополе

В сентябре 2013 года была проведена юбилейная XX международная научно-

техническая конференция «Машиностроение и техносфера XXI века» (рис. 17) [7]. Ее работа была направлена на дальнейшую консолидацию ученых, специалистов и представителей промышленных предприятий для содействия процессу дальнейшего развития техники и техносферы в условиях видоизменяющейся глобальной экономики. В период работы этой конференции состоялся XIV съезд Международного союза машиностроителей.

Можно отметить, что в этот период, работа Международного союза машиностроителей выполняется в соответствии с Уставом организации [8]. При этом члены этой организации проводят постоянную информационно-консультационную работу на заводах, предприятиях и организациях различных стран по пропагандированию последних достижений в науке и технике. При содействии Международного союза машиностроителей проводится ряд международных научно-технических конференций в Украине, России, Молдове, Румынии, Польше и других странах.

В 2014 году в Украине начали происходить глобальные общественно-политические конфликты, возникли значительные беспорядки в Киеве и других городах. При этом провозгласил независимость Крым и воссоединился с Россией, началась гражданская война в Донбассе, производились постоянные обстрелы мирных

Рис. 17. Программный комитет XX Международной научно-технической конференции в г. Севастополе в 2013 г.

городов и поселков, образовались Донецкая и Луганская Народные Республики, возникла справедливая народная борьба Юго-Востока Украины за свою свободу и независимость.

В этих условиях, учитывая важность и значимость традиций проведения

конференций в городе Севастополе, организационный комитет конференции принял решение продолжить традиции их проведения и начал ее подготовку к проведению. Работа организационного комитета конференции выполнялась в городе Донецке под звуки тяжелого вооружения, гаубиц, САУ и минометов. При этом обстреливались учебные корпуса Донецкого национального технического университета, были ранения и гибель сотрудников университета.

При поддержке МОН Донецкой Народной Республики, 15 -20 сентября 2014 года в городе Севастополе была проведена традиционная XXI международная научно-техническая конференция «Машиностроение и техносфера XXI века» (рис. 18). Также следует отметить, что значительную поддержку этой конференции оказало Правительство города Севастополя и директор Севастопольского промышленно-технологического колледжа имени Маршала инженерных войск А.В. Геловани, заслуженный работник образования, канд. пед. наук Медведь Валерий Владимирович.

На конференцию прибыли участники из Донецкой и Луганской Народных Республик, а также из пяти стран ЕАЭС, а именно России, Беларуси, Казахстана, Грузии и Украины. Для работы конференции была издана программа и два тома научных трудов конференции, включающих 112 научно-технических статей. В этом году пленарные и секционные заседания проходили в учебных корпусах Севастопольского промышленно-технологического колледжа имени Маршала инженерных войск А.В. Геловани.

Рис. 18. Пленарное заседание участников XXI международной научно-технической конференции в г. Севастополе

В целом эта конференция прошла традиционно творчески и плодотворно, участники конференции активно представляли доклады, вели научные дискуссии и обсуждали перспективные научные разработки в области машиностроения и техносферы.

Последующие конференции, а именно XXII … XXIV международные научно-технические конференции «Машиностроение и техносфера XXI века», которые проводились традиционно в сентябре 2015 … 2017 годах в городе Севастополе, отличались высокой активностью ее участников. Они позволили наметить основные ориентиры развития машиностроения и техносферы в новых условиях глобализации мировой экономики и конкретно в особенностях Донбасса, определить вектор их прогрессивного развития, а также выявить перспективные варианты создания лучших мировых образцов технологий и технологических машин.

Следует отметить, что эти конференции проводились в рамках Международных научно-технических форумов «Техносфера – 2015 … 2017» совместно с целым рядом университетов и организаций различных стран (рис. 19 … 21). При этом пленарные и

секционные заседания проходили на площадях Севастопольского государственного университета. Поэтому организационный комитет международных научно-технических конференций «Машиностроение и техносфера XXI века» выражает искреннюю признательность и благодарность Севастопольскому государственному университету за поддержку работы этих конференций в особенно трудных для нас условиях, выдавшихся в эти годы.

Подготовка организационным комитетом конференции XXV международной научно-технической конференции «Машиностроение и техносфера XXI века» также выполнялась в сложных геополитических условиях, возникающих вызовов и проблем. Тем не менее, организационный комитет данной конференции смотрит в перспективу и надеется, что эта встреча даст определенный толчок для дальнейшего развития машиностроения, активизации международного сотрудничества и развития новой техники и технологий в сложных условиях глобализации мировой экономики. При этом основные планы дальнейшей работы организационного комитета международных научно-технических конференций, проводимых в городе Севастополе, должны базироваться на следующем:

1. Продолжить традицию проведения конференций в городе Севастополе.

2. Активнее вести работу по развитию сотрудничества ученых, специалистов и представителей промышленных предприятий из различных стран.

Рис. 19. Открытие XXII международной научно-технической конференции в Севастопольском государственном университете в 2015 году

3. Вести работы по расширению географии участников конференции.

4. Активнее привлекать представителей промышленных предприятий, заводов и фирм к участию в конференции.

5. Вести работу по дальнейшему широкому обмену информации научно-технической характера между участниками конференции.

6. Способствовать прогрессивному развитию машиностроения и техносферы в условиях дальнейшего углубления мирового кризиса и глобализации мировых отношений.

7. Проводить работу по дальнейшей консолидации участников проводимых конференций.

К основным результатам проведения данных международных научно-технических конференций в городе Севастополе можно отнести следующее:

Рис. 20. Доклад профессора Бутенко В.И. (г. Таганрог) на Пленарном заседании XXIII международной научно-технической конференции в г. Севастополе

1. Проведено двадцать пять международных научно-технических конференций в городе Севастополе.

2. В работе конференций приняло участие около 5500 участников, это молодые и ведущие ученые, и специалисты из 33 стран мира.

3. Для работы конференций издано более 80 сборников научных трудов конференции, в которых опубликовано более 6000 тезисов докладов и статей участников конференции.

4. На конференции рассмотрены, обсуждены и рекомендованы к защите более 35 докторских и 120 кандидатских диссертационных работ.

5. На основе предложений и рекомендаций участников данной конференции, начато издание следующих научно-технические трудов и журналов:

- международного сборника научных трудов «Прогрессивные технологии и системы машиностроения», который начал издаваться с 1994 года, имеет международную индексацию ISSN и Российский индекс научного цитирования (РИНЦ), включен в перечень ВАК Украины (до 2015 г.) и перечень ВАК ДНР (с 2016 г.) [9];

Рис. 21. Секционное заседание участников XXIV международной научно-технической конференции в Севастопольском государственном университете

- международного студенческого научно-технического журнала «Инженер», который начал издаваться с 2000 года, имеет международную индексацию ISSN [10];

- международного научного журнал «Innovative and information Manufacturing Technologies», который планируется начать издавать с 2013 года на английском

языке.

6. Начато проведение научно-технических, научно-практических, методических конференций и семинаров, основные из них следующие:

- международная студенческая научно-техническая конференция «Автоматизация, технология и качество в машиностроении», проводится ежегодно с 2000 года в городе Донецке;

- международный научно-практический семинар «Практика и перспективы развития партнерства в сфере высшей школы», проводится ежегодно с 2000 года в городах Донецке (Украина) и Таганроге (Россия);

- международная научно-методическая конференция «Современные проблемы техносферы и подготовки инженерных кадров», которая проводилась ежегодно 2008 – 2014 годах в Тунисе и в 2016 году в городе Сухум (Абхазия).

7. На базе этой конференции в 2000 году создана Международная общественная организация «Международный союз машиностроителей», в которую входят представители из 21 страны, и работает 20 представительств в различных странах мира.

8. Благодаря ежегодному проведению конференции и реализации встреч участников конференции организовываются совместные международные проекты, выполняются договора, налаживаются научно-технические связи между учеными и специалистами в различных отраслях народного хозяйства.

9. В целом происходит консолидация ученых, специалистов и представителей промышленных предприятий, участвующих в конференциях данного уровня.

10. На основе выполняемых исследований и сотрудничества ученых различных стран были созданы и успешно развиваются новые научные направления исследований в области машиностроения и техносферы.

Список литературы: **1.** Новые технологии и системы обработки в машиностроении / Тезисы докладов I международной научно-технической конференции в г. Севастополе 20 – 23 сентября. – Донецк: ДонГТУ, 1994. – 144 с. **2.** Прогрессивная техника и технологии машиностроения / Тезисы докладов II международной научно-технической конференции в г. Севастополе 12 – 15 сентября. – Донецк: ДонГТУ, 1995. – 338 с. **3.** Современные проблемы машиностроения и технический прогресс / Тезисы докладов III международной научно-технической конференции в г. Севастополе 10 – 13 сентября. – Донецк: ДонГТУ, 1996. – 408 с. **4.** Прогрессивные технологии машиностроения и современность / Сборник трудов IV международной научно-технической конференции в г. Севастополе 9 – 12 сентября. – Донецк: ДонГТУ, 1997. – 358 с. **5.** Машиностроение и техносфера на рубеже XXI века / Сборники трудов V ... VIII международных научно-технических конференций в г. Севастополе. – Донецк: ДонГТУ, 1998 ... 2001. **6.** Машиностроение и техносфера XXI века / Сборники трудов IX ... XXV международных научно-технических конференций в г. Севастополе. – Донецк: ДонНТУ, 2002 ... 2018. **7.** Сайт Международной научно-технической конференции: Машиностроение и техносфера XXI века. – Режим доступа: http://konf-sev.donntu.org **8.** Сайт Международного союза машиностроителей. – Режим доступа: http://iumb.donntu.org **9.** Международный сборник научных трудов ДонНТУ: Прогрессивные технологии и системы машиностроения. – Режим доступа: http://ptsm.donntu.org **10.** Студенческий научно-технический журнал: ИНЖЕНЕР. – Режим доступа: http://engineer.donntu.org

ФУНЦИОНАЛЬНО-ОРИЕНТИРОВАННЫЙ ПОДХОД В ИНЖЕНЕРНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Михайлов А.Н., Петров М.Г., Головятинская В.В, Цыркин А.Т.
(ДонНТУ, г. Донецк, ДНР)
Тел./Факс: +38 (062) 3050104; E-mail: tm@fimm.donntu.org

Abstract: *Skills in modern methods of new technical solution search is an important aspect of engineer's successful work. As far as development of technological processes in mechanical engineering is concerned the functionally oriented approach is of particular interest. The point of it is in analysis of the operating functions influencing the product and implementation of the special structure of their technological support based on special principles.*
Key words: *functionally oriented method, technological process, technology synthesis, operating functions, technological impacts.*

Базовая основа инженерной деятельности – создание эффективных технических средств и технологий, реализуемых посредством анализа объекта с установлением существенных характеристик, связей и отношений; и выделения оснований для принятия с последующей выработкой решений [1].

Необходимым условием создания эффективных технических средств и технологий является творческий аспект деятельности инженера. Ему необходимо не только усвоить парадигму соответствующей области знаний, обучиться применять полученные знания в конкретных ситуациях, овладеть специальной техникой исследования тех явлений, которые входят в предмет рассматриваемой научной дисциплины, но и находить новые оригинальные решения.

Важным аспектом успешной деятельности инженера является владения им современных методов поиска новых технических решений на уровне изобретений. Известно достаточно большое количество эвристических методов решения конструкторско-технических задач, например, ТРИЗ, морфологический анализ, методы функционально-структурного исследования объектов, обеспечивающих эффективность труда инженерно-технических работников и создателей новой техники [2, 3]. Эффективность применения эвристических методов при решении нестандартных задач будет тем существенней, чем шире спектр их использования. Каждый инженер в соответствии с решаемой задачей может выбрать наиболее подходящий для него набор эвристических приемов и методов их решения. Функционально-ориентированный подход (ФОП) – один из методических инструментов, рекомендации которого могут быть адаптированы для поиска ресурсов в процессе изобретений, при этом основная идея заключается в том, что для решения задач могут быть использованы готовые технологии из лидирующих областей науки и техники [4]. Для поиска таких технологий составляется обобщенный функциональный запрос без использования специальных терминов, характерных для какой-либо конкретной области.

В отношении разработки технологических процессов в машиностроении ФОП представляет особый интерес [5]. Сущность ФОП при разработке технологических процессов заключается в использовании анализа эксплутационных функций, воздействующих на изделие, и структурировании их технологического обеспечения, реализуемого на особых принципов ориентации и реализации необходимого множества алгоритмов технологических воздействий на изделие в целом, части изделия, составляющие частей изделия, зоны, макро-, микро- и нанозоны по уровням глубины технологии. Синтез технологий машиностроения с использованием ФОП включает: построение гипотетической концептуальной модели технологического процесса; изучение особенностей эксплуатации изделия и выявления структуры эксплутационных функций, деление

изделия на функциональные элементы по уровням глубины технологии; анализ и генерирование альтернативных технологических воздействий на основе особых принципов ориентации. Использование ФОП при разработке новых технологических процессов позволяет найти оптимальное решение и разработать технологию, обеспечивающую получение деталей с высокими эксплуатационными и специальными нетрадиционными свойствами.

Нахождение решений с помощью ФОП при разработке технологических процессов может осуществляться путем генерации, обработки и систематизации технической и научной информации из различных областей науки и техники, выполненных научно-технических исследований, итеративного анализа на всех этапах и уровнях разработки технологического процесса [6]. Согласно положениям ФОП весь процесс разработки технологического процесса делится на оболочки, этапы и уровни [5-7]. Такая декомпозиция приводит к расчленению системы на подсистемы и элементы с целью их детального исследования и последующего синтеза. Кроме того, декомпозиция позволяет выстроить иерархическую структуру функциональных элементов изделия, соответствующую действию эксплуатационных функций на местных уровнях, что обеспечивает нахождение необходимых технологических воздействий на этих уровнях, в результате чего обеспечивается получение изделия с высокими свойствами. Итеративный анализ, осуществляемый на всех этапах и уровнях разработки технологического процесса, обеспечивает: снижение воздействия серьёзных рисков на ранних стадиях проекта и минимизации затрат на их устранение; акцентирует усилия разработчика на наиболее важных и критичных направлениях проекта; позволяет оценить успешность всего проекта в целом; дает возможность выполнять синтез технологического процесса посредством реализации, как последовательных процессов, так и многократных повторяющихся возвратных операций, выполняемых за счет обратных связей. В процессе разработки количество и последовательность этапов разработки и, соответственно, взаимосвязанных с ними технологических подсистем может изменяться за счет уточнения применяемых технологических воздействий. Это связано с выявлением и установлением материальных, энергетических и информационных связей между функциональными элементами изделия, влияющих на формирование конечных свойств изделия.

Необходимость создания нового технологического процесса может быть вызвана внедрением в производство нового изделия либо необходимость повышения эксплуатационных характеристик уже изготавливаемого изделия, увеличением производительности, необходимостью экономия материала или улучшения экологии. Исходя из проблемы, формулируются цели и задачи, определяются условия, ограничения и критерии проектируемого технологического процесса [8].

При проектировании нового технологического процесса ФОП позволяет учитывать заданные критерии, которыми могут быть количественные или качественные значения параметров изделий, характеризующих их прочность, пластичность и другие свойства, связанные с их эксплуатационными функциями [5, 9, 10]. Ограничения определяются объективными возможностями реализации проекта. Условия, ограничения и критерии проектируемого технологического процесса взаимосвязаны. Использование итеративных связей между различными этапами разработки технологического процесса позволяет их уточнять и корректировать. Исходя из целей и задач и учитывая критерии, условия и ограничения, определяется область поиска информации о различных способах решения проблемы. Сбор и стратегия использования информации осуществляется в следующей последовательности. Собирается и анализируется информация, применяемая для решения аналогичных задач в данной области техники. Затем собирается и изучается информация из смежных областей техники, соответствующих разделов фи-

зики и химии, новейших научных открытий. При этом разработка технологий нового поколения основывается на итеративной стратегии с использованием системы принципов, заключающихся в максимальном анализе не только ранее известных, но и новых, качественно новых, принципиально новых принципов, принципов на уровне пионерских и других решений, а также принципов на уровне открытий. Осуществляется глубокая проработка известной информации, изучение дополнительной информационной базы, компьютерное моделирование процессов, построение математических моделей; проведение экспериментальных исследований.

Экспериментальные исследования при разработке принципиально новых технологий, как правило, являются одним из условий получения достоверных результатов, однако при этом значительно удорожают стоимость таких разработок. Применение ФОП при проведении экспериментальных исследований позволяет не только сократить временные и финансовые затраты, но и повысить их эффективность. Алгоритм реализации экспериментальных исследований с использованием ФОП отражен в блок-схеме, изображенной на рис. 1.

Рис.1. Блок-схема проведения экспериментальных исследований с использованием ФОП

В предложенной блок-схеме проведения экспериментальных исследований с использованием ФОП объектом исследования могут быть явления, например, явление теплопроводности, или предмет, например, коленчатый вал. Предмет исследований – свойства, вопросы и проблемы, относящиеся к объекту исследований.

Выявление и упорядочивание, как структуры эксплутационных функций объекта исследования, так и структуры технологических функций предмета исследования, обеспечивают не только уточнение цели исследования, но и содействуют в структурировании содержания его задач.

В блок-схеме проведения экспериментальных исследований с использованием ФОП все модули связаны между собой итеративными связями. Такое построение взаимосвязей между модулями, а, соответственно, также и между уровнями и этапами экспериментальных исследований, необходимо для уровневого уточнения и анализа информации в любом модуле по факту генерирования новой информации в соответствующем модуле.

Следует отдельно отметить, что использование ФОП при разработке технологических процессов позволяет не только формировать технологические воздействия на изделие и оптимизировать его свойства в зависимости от особенностей эксплуатации функциональных элементов изделия, но и обеспечивает как возможность полной адаптации изделия к особенностям его эксплуатации, так и достижение предельного эксплутационного потенциала изделия.

В целом, рациональное использование ФОП в инженерной деятельности – это метод достижения высокоэффективных результатов инженерного труда.

Список литературы: 1. Шейнбаум В.С. Методология инженерной деятельности. Учебное пособие. – 2-е изд., испр. и доп. – Н.Новгород: Изд-во РГУ Нефти и Газа, 2007. – 360 с. **2.** Шустов М.А. Методические основы инженерно- технического творчества. – Томск: Изд-во Томск. политехн. ун-та, 2010. – 78 с. **3.** Половинкин А.И. Методы технического творчества. Учебное пособие.– Волгоград: Волгоград. политехн. ин-т, 1984. – 365 с. **4.** Litvin S. Материалы конференции TRIZ-Fest 2007. Substantiation of FunctionOriented Search Derived Solutions http://www.metodolog.ru/01100/01100.html. **5.** Михайлов А.Н. Основы синтеза функционально-ориентированных технологий машиностроения. –Донецк: ДонНТУ, 2009. – 346 с. **6.** Михайлов А.Н. Дискурсивное развитие стратегии функционально-ориентированного метода разработки технологических процессов в машиностроении / А.Н. Михайлов, АТ. Цыркин, А.М. Петров, В.В. Головятинская, М.Г. Петров // Прогрессивные технологии и системы машиностроения: Международный сб. науч. тр. – Донецк: ДонНТУ, 2015. – № 1 (52). – С. 126-135. **7.** Михайлов А.Н. Общие особенности функционально-ориентированных технологий и принципы ориентации их технологических воздействий и свойств изделий / Машиностроение и техносфера XXI века: Сб. научн. тр. – Донецк: ДонНТУ, 2007. – Т. 3. – С. 38–52. **8.** Петров М.Г. Синтез комплексных технологий машиностроения / М.Г. Петров, В.В. Головятинская, А.Н. Михайлов, А.Т. Цыркин //Современные проблемы техносферы и подготовки инженерных кадров. Сб. тр. IX Междунар. научно-методической конф. в г. Сухум с 01-09 октября 2016 г. – Донецк: МСМ, 2016. – С. 192-198. **9.** Михайлов А.Н. Развитие стратегии синтеза функционально-ориентированных технологий машиностроения / А.Н. Михайлов, А.Т. М.Г. Петров, А.Т. Цыркин // Вестник современных технологий: Сб. науч. тр. – Севастополь: ФГАОУ ВО «СевГУ», 2016. – № 1(1). – С. 63-69. **10.** Михайлов А.Н. Обеспечение свойств изделий при синтезе функционально-ориентированных технологий машиностроения / А.Н. Михайлов, А.Т. Цыркин, А.М. Петров, В.В. Головятинская, М.Г. Петров // Известия Тульского государственного университета: Технические науки. – Тула: Изд-во ТулГУ, 2016 – Вып. 8 – Ч. 2 – С. 283-290.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ХОЛОДНОЙ ОБЪЕМНОЙ ШТАМПОВКИ

Михайлов Ю.О., Князев С.Н. *(Ижевский государственный технический университет, Россия)*
Тел.: +7(3412)77-60-55 доб. 4327; E-mail: mihailov@istu.ru; ksn_izh@mail.ru

Abstract: *Computer simulation of technological processes of cold die forging is widely used in solving modern problems of mechanical engineering. In 95% of the cases, the tooling does not require debugging after the initial tests due to the required change in technology, since all the features of the blank forming process were taken into account in the simulation. The article presents the technological process of manufacturing parts of the "Body" with internal spiral grooves, calculated using the software complex QForm VX. The choice of the software product is due to the fact that it is a Russian development. The software product is specifically designed to solve the problems of metal forming, contains a library of equipment and a library of materials of the Russian Federation. Due to the simulation of the technological process in the software environment QForm VX introduced intermediate step mandreling, optimal values of the technological characteristics of the process, the adjusted geometry die tooling, the size of the blank.*
Key words: *QForm, simulation, cold forging, computer modelling, die tooling*

Компьютерное моделирование технологических процессов холодной объемной штамповки широко применяется при решении современных задач машиностроения. Этот подход позволяет в кротчайшие сроки изготовить качественную, конкурентоспособную, экономически выгодную штамповую оснастку. В 95% случаях оснастка не требует доводки после первичных испытаний из-за требуемого изменения технологии, так как все особенности процесса формоизменения заготовки были учтены при моделировании.

На сегодняшний день разнообразие программных комплексов крайне велико и выбор того или иного продукта зависит от задач, решаемых пользователем, а также от критерия времени расчета и стоимости продукта. Исходя из выше сказанного, программный комплекс QForm VX имеет ряд преимуществ. Этот программный продукт имеет интуитивно понятный интерфейс и широко используется при написании магистерских и кандидатских диссертаций [1]. Рассмотрим технологический процесс изготовления деталей типа «Корпус» с внутренними спиральными рифлениями, рассчитанный при использовании программного комплекса QForm VX.

Технологические процессы штамповки могут быть рациональными лишь при условии создания технологической конструкции или формы детали, допускающей наиболее простое и экономичное изготовление. Поэтому технологичность холодноштамповочных деталей является важной предпосылкой прогрессивности методов и экономичности производства. Способы изготовления деталей типа «Корпус» с внутренними спиральными рифлениями могут быть различны. Как наиболее целесообразный технологический процесс изготовления таких деталей, отвечающий требованиям ресурсосбережения, выбран процесс редуцирования, основанный на проталкивании трубной заготовки с внутренней оправкой через матрицу. Сечение стенки детали в зоне рифления показано на рис. 1.

Способ включает редуцирование трубной заготовки за две последовательные операции, каждую из которых осуществляют путем совместного продавливания через калибровочную матрицу трубной заготовки и внутренней оправки с многозаходными спиральными выступами на боковой поверхности без относительного вращения внутренней оправки и трубной заготовки (рис. 2).

Между заготовкой и матрицей в качестве смазки применяют раствор натриевого мыла, нанесенного на фосфатную основу, а между оправкой и заготовкой применяют консистентную смазку на основе машинного масла и графита.

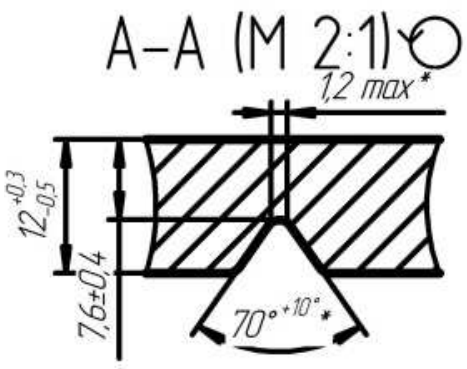


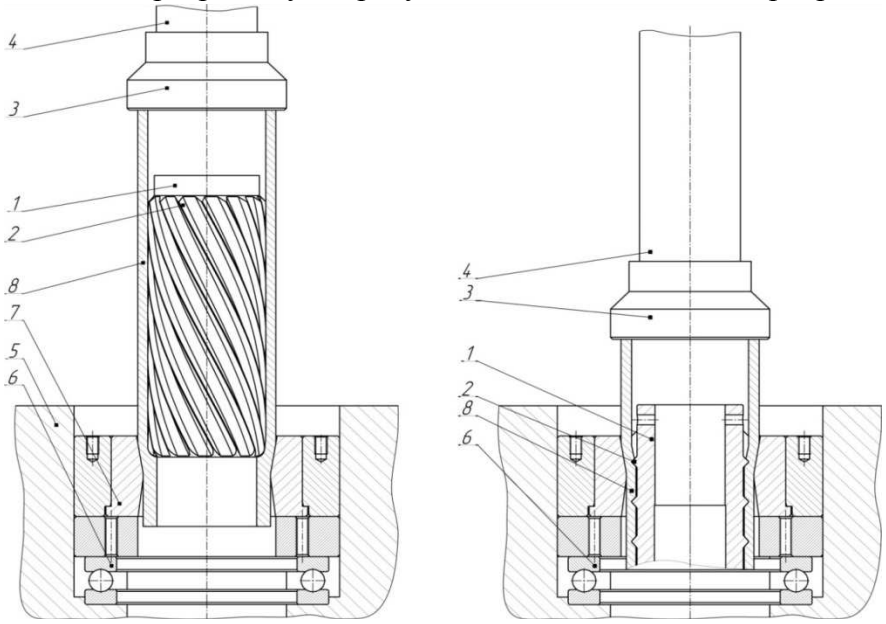
Рис. 1. Сечение стенки детали типа «Корпус» с внутренними спиральными рифлениями (материал изделия: сталь 20 ГОСТ 1050-2013)

В ходе выполнения операций редуцирования давление прикладывают на торец заготовки. При этом в указанных операциях редуцирования используют внутренние оправки с многозаходными спиральными выступами противоположного направления и калибровочные матрицы разного диаметра. После завершения формирования спиральных рифлений на каждой операции редуцирования трубную заготовку и внутреннюю оправку извлекают из матрицы. Далее выпрессовывают оправку из заготовки, используя при этом упор, установленный на шариковый радиально-упорный подшипник. Каждую операцию редуцирования осуществляют за два перехода. Во время выполнения операций редуцирования используют внутренние оправки меньшей длины, чем длина трубной заготовки (отношение длины оправки к длине заготовки составляет 2/3) [2].

Следует отметить, что в качестве программы-симулятора технологического процесса штамповки детали типа «Корпус» был выбран QForm VX. Выбор программного продукта продиктован рядом факторов. Во-первых, данный программный продукт является российской разработкой. Во-вторых, программный продукт специально ориентирован для решения задач обработки металлов давлением (ОМД). В-третьих, программный продукт содержит библиотеку оборудования и библиотеку материалов Российской Федерации.

В программную среду QForm VX были импортированы трехмерные модели используемого инструмента и заготовки, созданные в SolidWorks (рис. 3), и заданы параметры процесса, такие как:

- температура заготовки (20°С),
- материал заготовки (сталь 20) и инструмента (сталь Х12МФ),
- смазка (на оправку наносят консистентную смазку на основе графита, заготовка покрыта фосфатом и мыльным раствором),
- кинематика технологического процесса



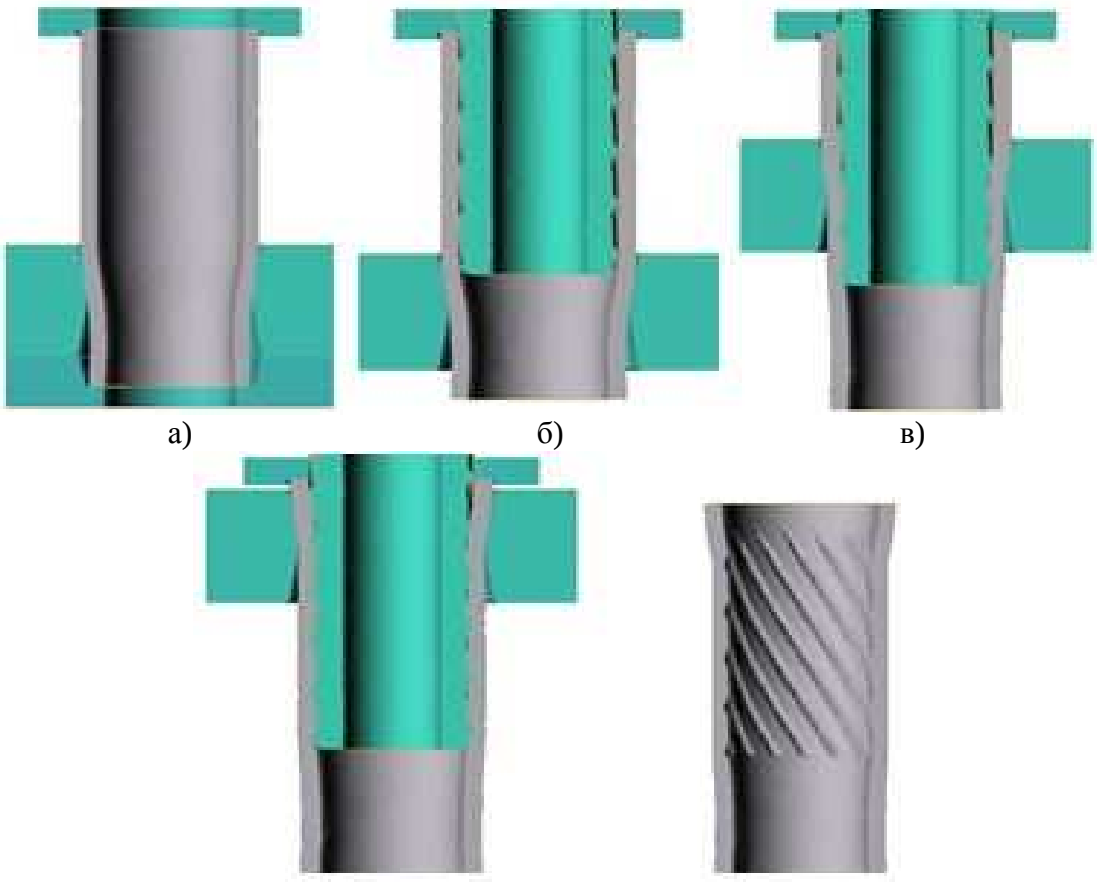
а) б)

Рис. 2. Схема процесса: а) до редуцирования, б) после редуцирования
(1 – внутренняя оправка, 2 – многозаходные спиральные выступы, 3 – упор,4 – пуансонодержатель, 5 – матрицедержатель, 6 – радиально-упорный шариковый подшипник, 7 – калибровочная матрица, 8 – заготовка)

а) б) в)

Рис. 3. Трехмерные модели, выполненные в SolidWorks:
а) исходная трубная заготовка, б) матрица для выполнения 1-й операции редуцирования, в) оправка с многозаходными спиральными выступами для выполнения 1-й операции редуцирования

редуцирования,
- условия остановки расчета (ход толкателя пресса),
- минимальное число слоев элементов (для корректного расчета число слоев элементов выбирают в диапазоне 4…6, выбираем 6 слоев),
- включаем адаптацию сетки заготовки по деформации (данный параметр позволяет оператору не подбирать минимальный размер элемента заготовки, в необходимых местах в процессе расчета программный продукт переразобьёт сетку самостоятельно).



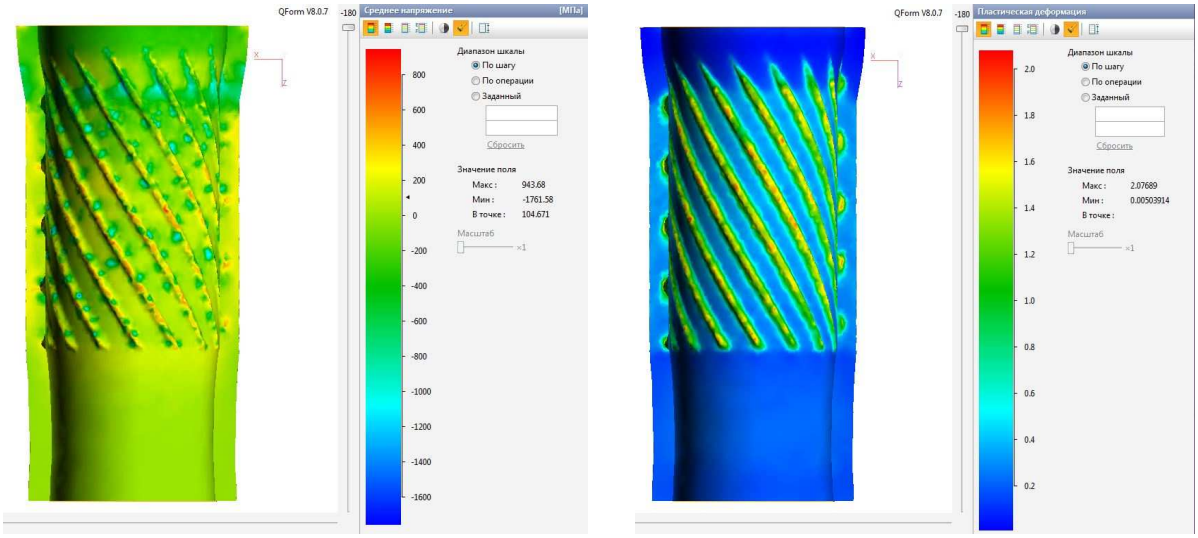
а) б) в)

г) д)

Рис. 4. Компьютерное моделирование технологического процесса, 1-я операции редуцирования трубной заготовки в программном комплексе QForm VX:
а) обжим носика трубной заготовки; б), в), г) 1-я операция редуцирования трубной заготовки; д) трубная заготовка после выполнения 1-й операции редуцирования

Для расчета технологического усилия, необходимого для выполнения операции редуцирования достаточно выполнить моделирование лишь части трубной заготовки (рис. 4). [3] .Таким образом, в программный комплекс QForm VX была загружена заготовка длиной кратной длине готового изделия, с заданной толщиной стенки 12 мм и заданным наружным диаметром; матрица, имеющая угол конуса 10˚; внутренняя оправка с многозаходными спиральными выступами (в данном случае выпрессовка оправки из заготовки не моделируется, поэтому она выполнена на всю длину заготовки). Далее представлены результаты моделирования технологического процесса, 1-я операция редуцирования (рис. 5, 6).

Для моделирования 2-го перехода редуцирования все операции задания характеристик процесса и геометрии инструмента были выполнены аналогично как для 1-го перехода. Результаты представлены ниже (рис. 7-9).



а) б)

Рис. 5. Поля распределения в трубной заготовке после выполнения 1-й операции редуцирования: а) среднего напряжения, б) пластической деформации

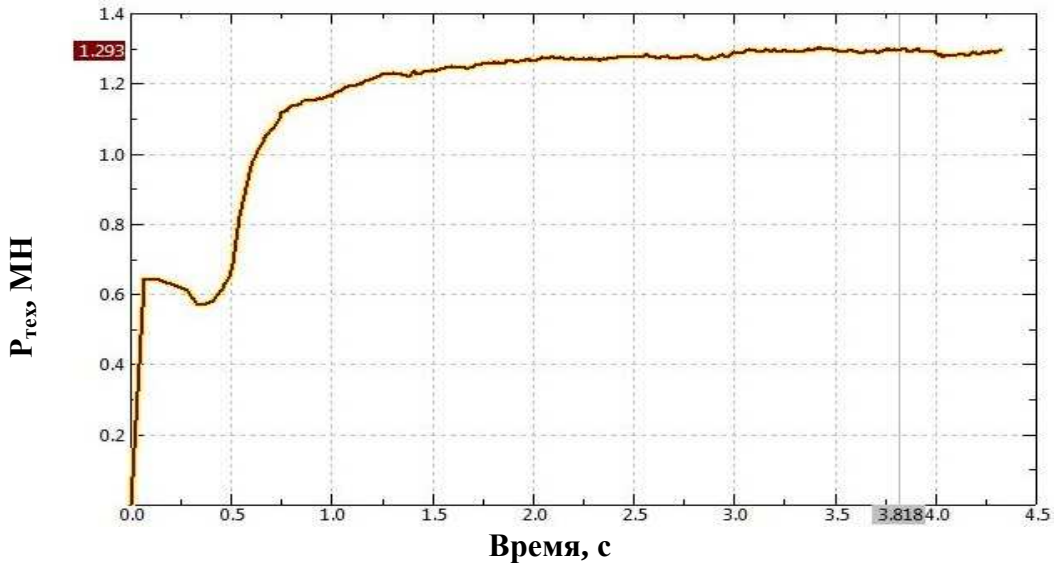


Рис. 6. График зависимости технологического усилия, необходимого для выполнения 1-го перехода редуцирования от времени хода ползуна пресса (сталь 20 ГОСТ 1050-2013)

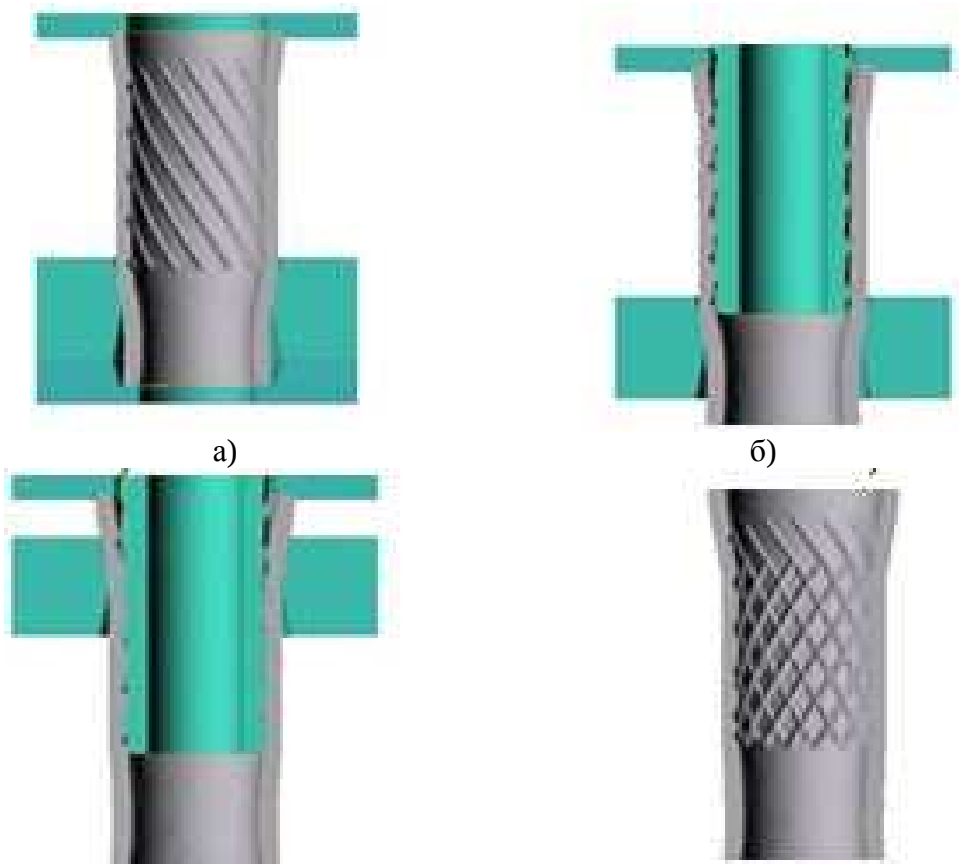


Рис. 7. Компьютерное моделирование технологического процесса 2-й операции редуцирования трубной заготовки в программном комплексе QForm VX: а) обжим носика трубной заготовки; б), в) 2-е редуцирование трубной заготовки; г) трубная заготовка после выполнения операции второго редуцирования

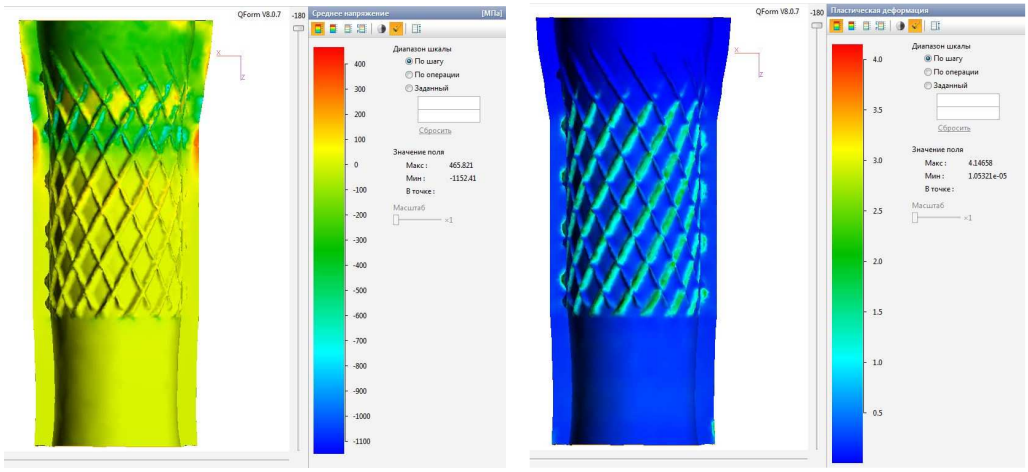


Рис. 8. Поля распределения в трубной заготовке после выполнения 2-й операции редуцирования: а) среднего напряжения, б) пластической деформации

Благодаря виртуальным испытаниям технологического процесса в программной среде QForm VX:

1. Были предложены дополнительные рекомендации по введению промежуточной операции дорнования.

2. Подобраны оптимальные величины тангенциальных степеней деформации.
3. Выбран угол конуса матрицы.
4. Определено, что для обеспечения толщины стенки в готовом изделии $12^{+0,3}_{-0,5}$ исходную заготовку с толщиной стенки меньше 12 мм брать не рекомендуется.
5. Определено, что при выполнении первой операции редуцирования заготовка удлиняется на величину порядка 18% от величины хода инструмента, при выполнении второй операции – на 10%. [3]

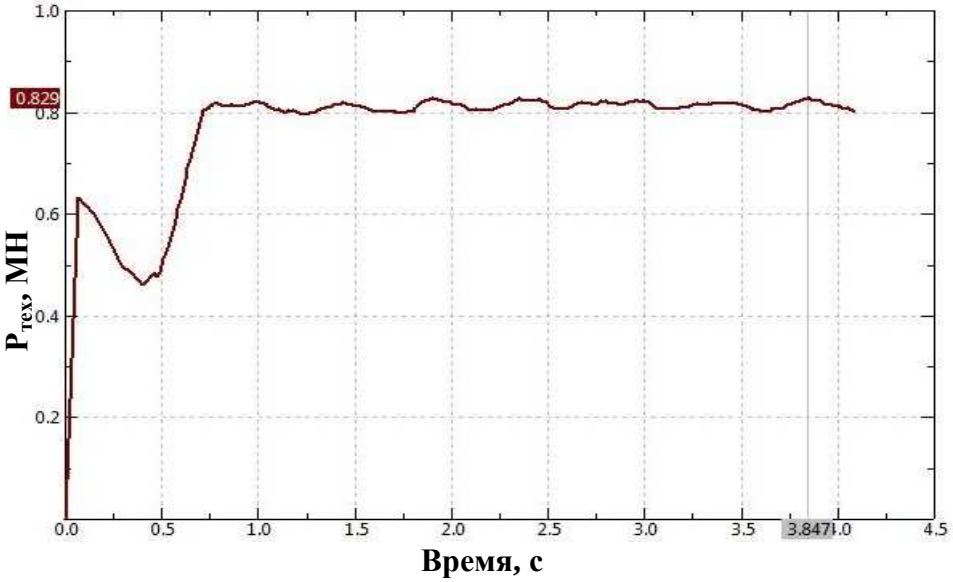


Рис. 9. График зависимости технологического усилия, необходимого для выполнения 2-й операции редуцирования от времени хода ползуна пресса (сталь 20 ГОСТ 1050-2013)

Результаты компьютерного моделирования подтверждены и теоретическим и расчетами. На основании полученных результатов была предложена методика расчета технологическо го усилия редуцирования трубной заготовки с оправкой. [4] А также, предложен способ нанесения PVD-покрытия для повышения стойкости внутренней оправки с многозаходными спиральными выступами, испытывающими большие контактные нагрузки во время выполнения операций редуцирования и, в особенности, при выпрессовке оправки из трубной заготовки. [5]

Список литературы: 1. Князев, С.Н. Совершенствование процесса редуцирования для изготовления осесимметричных деталей типа «Корпус» с внутренними спиральными рифлениями [Текст]: автореф. дис. на соиск. учен. степ. канд. технич. наук: 05.02.09; [Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королева (национальный исследовательский университет)]. – Ижевск, 2016. – 16 с. **2.** Михайлов, Ю.О. Способ получения трубчатых заготовок с нарезами [Текст] / Ю.О. Михайлов, Д.Г. Дресвянников, С.Н. Князев // Интеллектуальные системы в производстве. – 2013. – №1. – С. 81-82. **3.** Михайлов, Ю.О. Математическое и компьютерное моделирование технологического процесса редуцирования трубной заготовки с оправкой [Текст] / Михайлов, Д.Г. Дресвянников, С.Н. Князев // Интеллектуальные системы в производстве. – 2015. – №1. – С. 47-49. **4.** Михайлов, Ю.О. Методика расчета технологического усилия редуцирования трубной заготовки с оправкой [Текст] / Ю.О. Михайлов, С.Н. Князев // Интеллектуальные системы в производстве. – 2015. – №1. – С. 45-47. **5.** Князев С.Н. Наноструктурированное PVD-покрытие как способ повышения износостойкости штамповой оправки [Текст] / Ю.О. Михайлов, В.В. Тарасов, С.Н. Князев // Вестник ИжГТУ имени М.Т. Калашникова. – 2015. – №4. – С 4-5.

СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

Михайлов Ю.О., Князев С.Н. *(ИжГТУ, г. Ижевск, Россия)*
Тел.: +7(3412)77-60-55 доб. 4327; E-mail: mihailov@istu.ru; ksn_izh@mail.ru

Abstract: *The development of machine building requires the improvement of technological processes and organization of production, increasing the efficiency of technological processes and increasing labor productivity on the basis of automation of production processes. Software products - simulators of technological processes, such as: AutoForm R7, QForm VX, PamStamp, etc. - have replaced laborious and long-term calculations using formulas. The project documentation has been transferred to the electronic form with the help of products such as SolidWorks, Compass 3D, Proengineer, Catia, etc. The article deals with the technological process of sheet stamping, including the drawing process on the universal die tooling of parts from different materials. The conditions of material flow and the technological conditions for punching for each of the materials are significantly different. The desire of customers to obtain competitive products often does not coincide with the technological capabilities, as well as with the characteristics of the material blanks. To exclude the modification of the die tooling in order to ensure the possibility of obtaining suitable products, it is necessary to perform computer modelling of the processes of shaping sheet-stamping blanks.*
Key words: *AutoForm, simulation, sheet stamping, computer modelling, universal die tooling.*

Развитие современного машиностроения и металлообработки требует дальнейшего совершенствования технологических процессов и организации производства, повышения его эффективности и увеличения производительности труда на базе автоматизации производственных процессов. Листовая штамповка широко используется во всех отраслях промышленности, ее процессы зарекомендовали себя как энергоэффективные и экономически выгодные.

Проектирование технологии листовой штамповки и проектирование штамповой оснастки взаимосвязаны между собой. Технолог, выполняющий проработку технологии изготовления листоштампованной детали должен учитывать особенности проектирования штамповой оснастки. С той же ответственностью и конструктор штамповой оснастки должен обладать знаниями процессов, происходящих в процессе выполнения перехода штамповки. [1] На смену трудоемких и долгосрочных расчетов по формулам пришли программные продукты – симуляторы технологических процессов, такие как: AutoForm R7, QForm VX, PamStamp и др. Также и конструкторская документация перешла в электронный вид благодаря таким продуктам как: SolidWorks, Компас 3D, Proengineer, Catia и др.

Рассмотрим технологический процесс, рассчитанный при использовании программного комплекса AutoForm R7. Согласно конструкторской документации заказчика изделие – деталь типа «Панель» (рисунок 1) имеет внутренний радиус 0,8 мм при толщине материала 0,8 мм. Материал штампуемого изделия: DC 04 ED DIN EN 10209 и AISI 304 ASTM A240, заготовки из последнего материала штампуются с полиэтиленовой пленкой для исключения таких дефектов как царапины, потертости и пр. на видовой поверхности детали.

Условия течения материала и технологические условия штамповки для каждого из материалов значительно отличаются, а штамповая оснастка для изделий из разных материалов одна. Заготовки из стали DC 04 ED DIN EN 10209 более пластичные, обтяжка по пуансону при вытяжке не имеет больших сложностей. При штамповке опытной партии изделий получили на изделии в местах риска незначительное утонение, дефектов на поверхности обнаружено не было.

Нержавеющая сталь стали AISI 304 содержит легирующие элементы, такие как никель, марганец, медь и хром, и имеет аустенитную структуру, повышенную проч-

ность и коррозионностойкость. Заготовки из стали AISI 304 имели массу дефектов, связанных со свойствами материала, а также с конструкцией получаемого изделия.

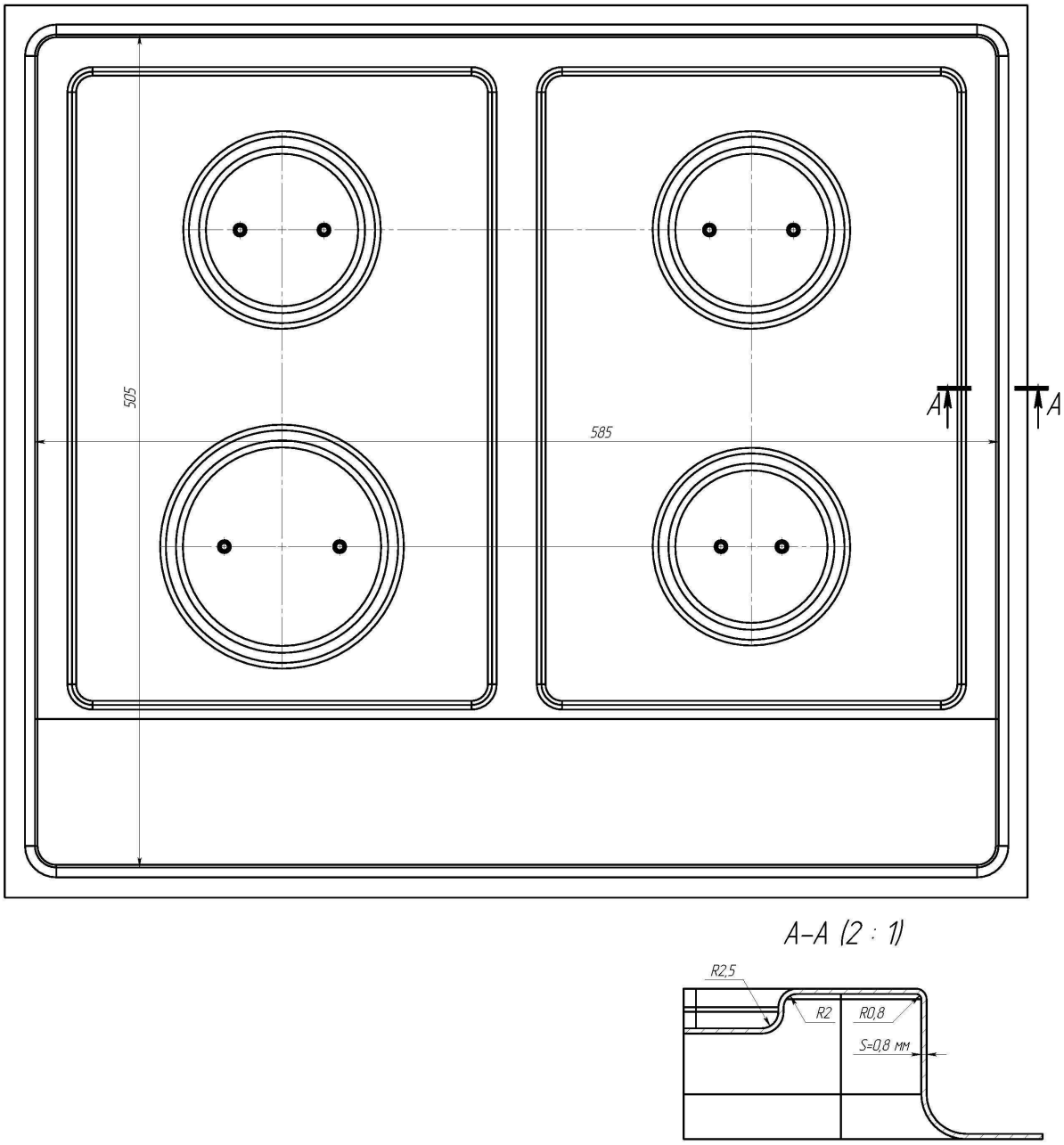


Рис. 1. Эскиз детали типа «Панель»

Одним из таких проблемных мест были боковые ребра изделия (на рисунке 1 они вынесены в разрезе А-А). Фактически на горизонтальной поверхности этих ребер образовывался «провал» вследствие пружинения детали и утонений, которые в свою очередь образовывались при течении металла через радиус 0,8 мм, равный толщине материала (рисунок 2).

Для исследования причин образования дефекта на видовой поверхности детали из стали AISI 304 ASTM A240 и для принятия технических решений по их устранению было проведено дополнительное компьютерное исследование в программном комплексе Autoform R7. В программный комплекс была импортирована существующая геомет-

рия инструмента штамповой оснастки и заготовки, затем геометрия оснастки изменялась в процессе моделирования до получения приемлемых результатов, то есть до устранения дефектов на изделии.

Моделирование процесса штамповки с наружным радиусом на пуансоне 0,8 мм показало, что в ходе вытяжки происходит локальное утонение металла на величину до 0,10 мм (рисунок 3, а), кроме того, существующие напряжения в детали после раскрытия штампа приводят к деформации, прогибу (рисунок 3, б) в следствие пружинения. В результате калибровка детали с целью получения плоской поверхности не приводит к получению изделия с заданными требованиями к поверхности и форме.

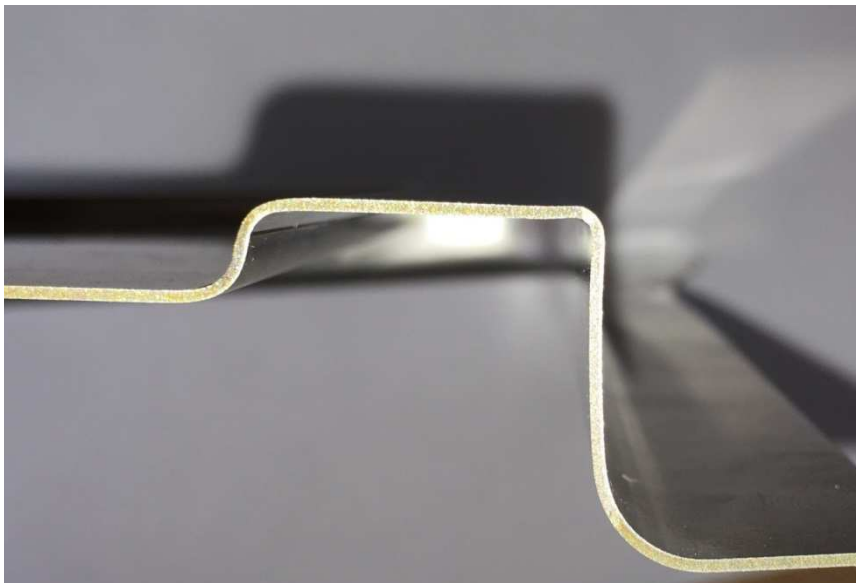
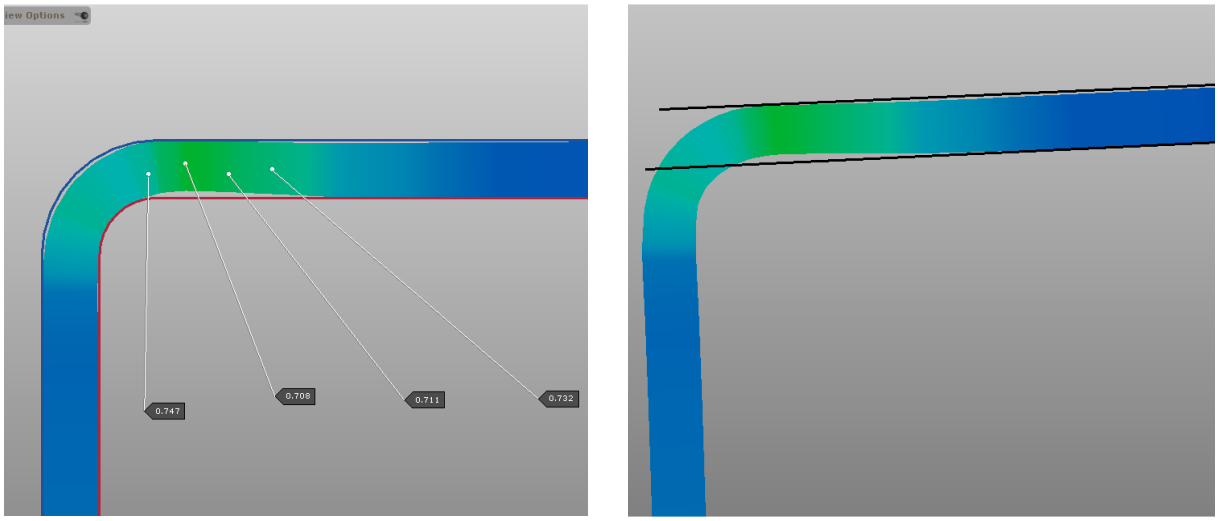


Рис. 2. Дефект, вследствие утонения заготовки и пружинения



а) б)

Рис. 3. Деталь типа «Панель»: а) до пружинения, б) после пружинения

Возникновение прогиба и утонение металла связано с тем, что в ходе процесса штамповки R 0,8 мм формируется «два раза». «Первый раз» R0,8 мм формируется в начале процесса (рисунок 4). «Второй раз» R0,8 мм формируется при вытяжке конфорок и понижений возле конфорок сдвигом и растяжением металла из «первого» участка формирования радиуса на плоскую горизонтальную поверхность (рисунки 5, 6).

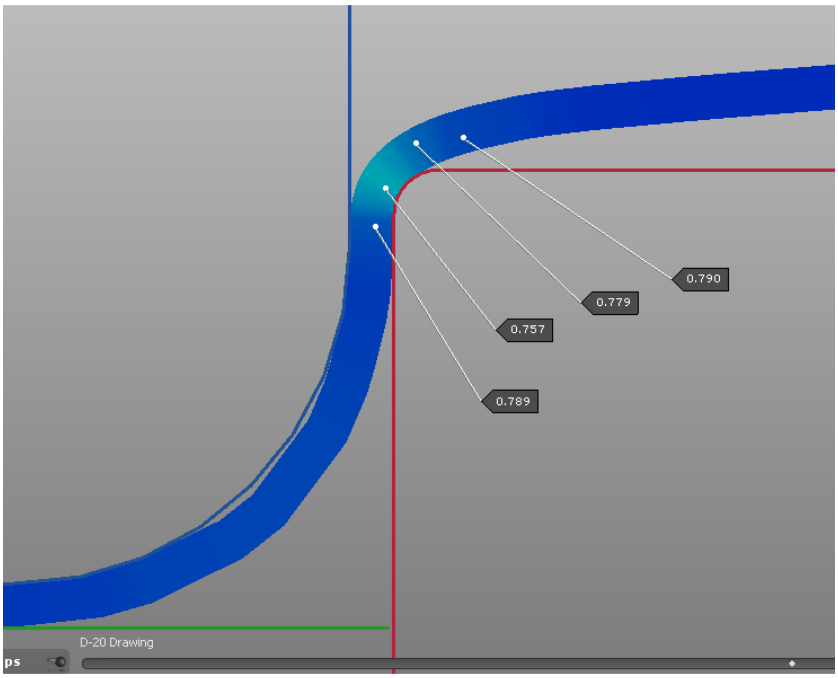


Рис. 4. Деталь типа «Панель», этап 1 - 50% моделирования хода штамповки

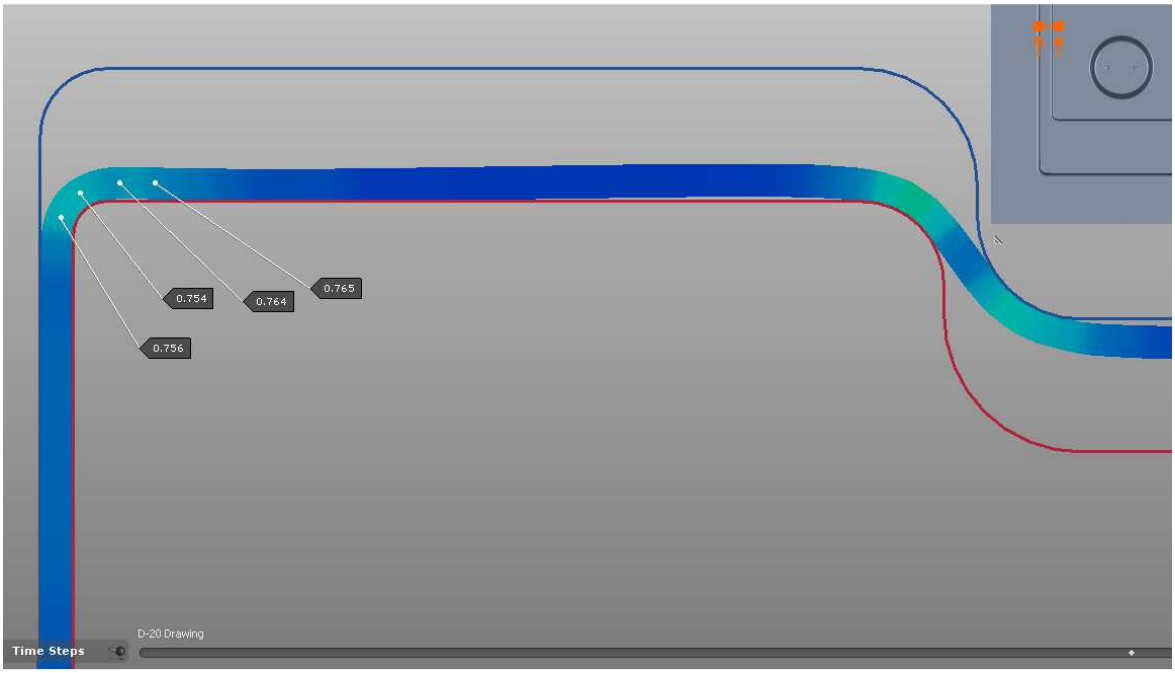


Рис. 5. Деталь типа «Панель», этап 2 – 75% моделирования хода штамповки

После предоставления результатов моделирования и сопоставления их результатами испытаний штамповой оснастки представителями заказчика была выполнена корректировка конструкторской документации, связанная с изменением внутреннего радиуса детали R 0,8 мм на радиус R 1,7 мм.

Анализ результатов компьютерного моделирования технологии изготовления детали «Панель верхняя» с измененным инструментом показал, что отклонения геометрии в результате пружинения и зона утонения детали снижаются (рисунок 7), что является гарантом качества получаемого изделия. Также изменение конструкции штамповой оснастки привело к снижению усилия на операции вытяжка на 15 тс.

Штамповка партии деталей после доработки штамповой оснастки подтвердили результаты компьютерного моделирования технологического процесса.

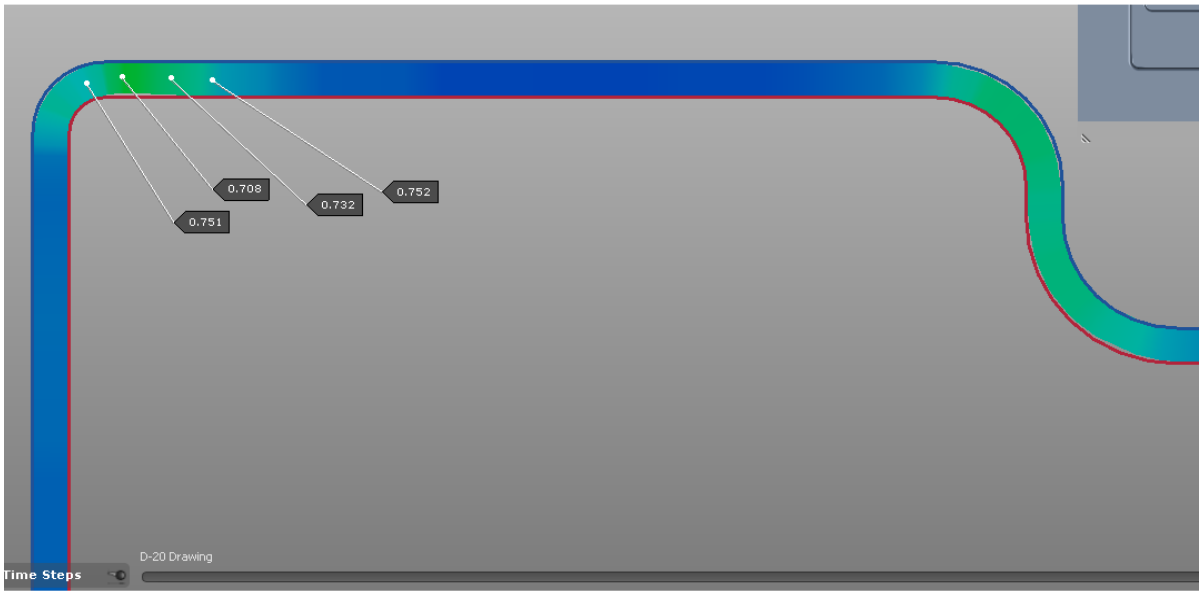
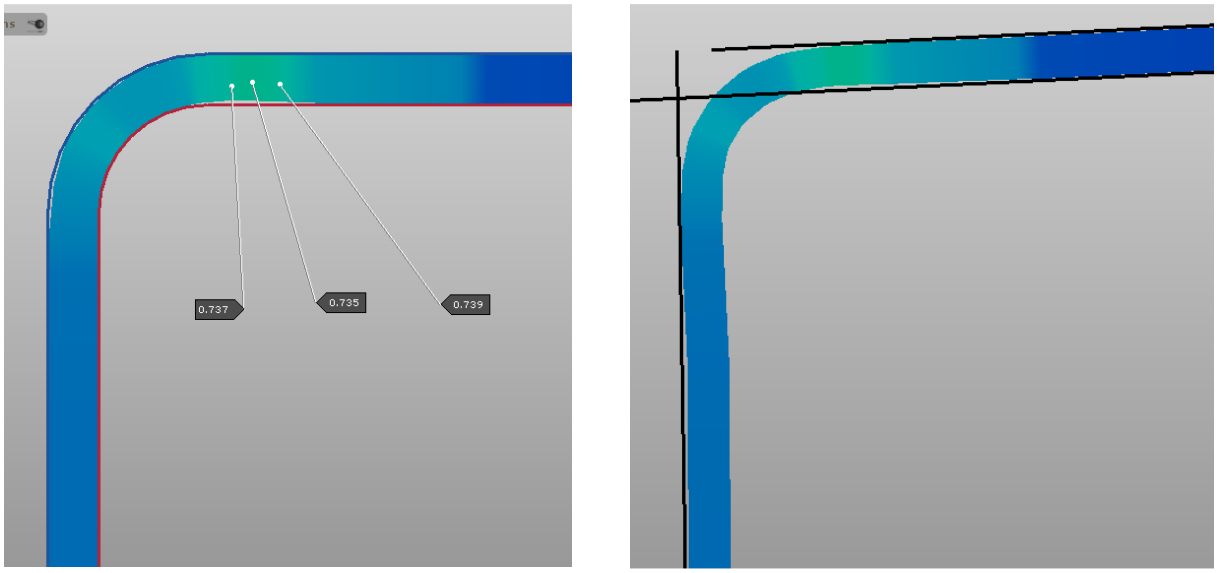


Рис. 6. Деталь типа «Панель», этап 4 – 100% моделирования хода штамповки



а) б)

Рис. 7. Деталь типа «Панель»:а) до пружинения, б) после пружинения

Желание заказчиков получить конкурентоспособную продукцию зачастую не совпадает с технологическими возможностями, а также с характеристиками материала заготовок. Для исключения доработок штамповой оснастки с целью обеспечения возможности получения годных изделий необходимо выполнять компьютерное моделирование процессов формоизменение листоштампованных заготовок.

Список литературы: 1. Романовский, В.П. Справочник по холодной штамповке [Текст]: справочник / В.П. Романовский. – 5-е изд., доп. и перераб. – Ленинград.: Машиностроение, 1971. – 782 с.

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ НАГРУЗОК НА РОЛИКИ ПРИ КОМБИНИРОВАННОМ СПОСОБЕ ПЕРЕДАЧИ НАГРУЗКИ НА БУКСУ НА ОБЪЕМНЫХ МОДЕЛЯХ

Невмержицкая Г.В. *(БГТУ, г. Брянск, Россия)*
Тел./Факс: 89605649682; E-mail: galka_nevm@mail.ru

Abstract: *The stress-strain state (SSS) and the distribution of loads on the rolling bodies of the TIMKEN double-row bearing of the high-speed TGV electric train axle-box are investigated by the photoelasticity method. The investigations have been conducted from vertical loads without taking into account radial clearances in the bearing.*
Key words: *double-row bearing of the high-speed TGV electric train axle-box, photoelasticity method, stress-strain state, contact pressure.*

В работе [1] на плоских моделях исследовано распределение нагрузок на ролики для 4-х вариантов нагружения буксы вертикальными усилиями. В работах [2, 3] приведены результаты исследований для двух из этих вариантов на объемных моделях. Сопоставление результатов, полученных с использованием плоских и объемных моделей, а также расчетов, выполненных с использованием конечно-элементных расчетных схем, позволило утвердиться в надежности полученных законов распределения. Что же касается двух других способов нагружения буксы, то они не реализованы на объемных моделях. Но ниже мы приведем результаты исследования на объемных моделях буксы высокоскоростного поезда TGV, где реализовано комбинированное нагружение: на свод буксы сверху передается 70 % вертикальной нагрузки, а на два кронштейна, расположенных в одном уровне, по 15 %. Чертеж буксы и ее корпуса представлен на рис. 1.

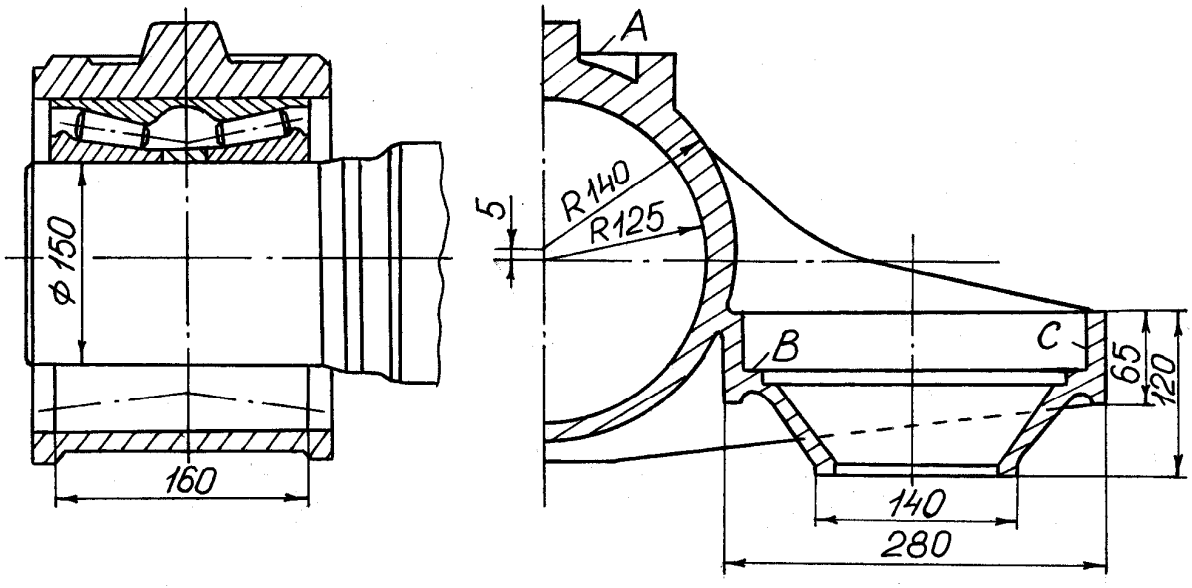


Рис. 1. Чертеж буксы высокоскоростного электропоезда TGV

Корпус буксы состоит из цилиндрической части, толщина стенки которой меняется от 10 мм в нижней части до 20 мм в верхней части. На верхнем своде выполнен кольцевой буртик *A*, на который опирается пружина буксового подвешивания, через которую передается 70 % вертикальной нагрузки. По бокам корпуса располагаются кронштейны, выполненные в виде тонкостенных приливов,

через которые проходят шпинтоны рамы тележки с резинометаллическими элементами. Через каждый резинометаллический элемент передается 15 % вертикальной нагрузки, а также продольная и боковая силы. В буксе установлен двухрядный конический подшипник фирмы TIMKEN. Число роликов в одном ряду 21, средний диаметр ролика 24 мм.

Объемная модель буксы выполнена из эпоксидного композита ЭД20-МТГФА. Масштаб подобия по линейным размерам был выбран исходя из условия ограничения по минимальной толщине листа. В связи с тем, что букса имеет тонкостенные ребра жесткости, а толщина сжатых в срединной плоскости листов модели не должна быть меньше 3-4 мм, чтобы не возникла опасность потери устойчивости элементов корпуса, масштаб был принят равным m_l = 2,5. Нагрузка на модель буксы выбрана из условия прочности кронштейна в месте его примыкания к стенке корпуса. В связи с тем, что напряжения в этом сечении были оценены приближенно, без учета их концентрации, в качестве допускаемого напряжения при исследовании методом «замораживания» принято [σ] = 0,4 МПа.

Нагрузка на кронштейн была принята 27 Н. Масштаб подобия по силам составил m_p = 556, с учетом того, что нагрузка на кронштейн натурного образца, принята равной 15 кН. Тогда нагрузка на верхний свод корпуса должна составить 126 Н, в действительности она составила с учетом всех подвесов 130,5 Н.

Цена полосы материала получена на тарировочной балочке, подвергнутой чистому изгибу в условиях «замораживания», и составила

$$\sigma_0^{1,0} = 0{,}0407 \frac{МПА}{полоса} \ .$$

Измерен радиус кривизны осевой линии тарировочной балочки R, он оказался равным 0,438 м. С его использованием найден модуль упругости материала при температуре высокоэластичного состояния

$$E_{в.э.} = \frac{M \cdot R}{I},$$

где M – изгибающий момент, равный $P \cdot a$;

P – нагрузка на балочку, равная 11,8 Н;

a – плечо пары сил, действующих на балочку, a = 3 см;

I – момент инерции прямоугольного поперечного сечения, $I = \frac{bh^3}{12}$,

b, h – ширина и высота сечения балочки, b = 8,3 мм, h = 24,5 мм.

Получено значение модуля упругости материала модели

$$E_{в.э.} = 15{,}25 \text{ МПа}.$$

Таким образом, коэффициент подобия по модулю упругости равен

$$m_E = \frac{E_H}{E_M} = 1{,}38 \cdot 10^4,$$

где $E_H = 2{,}1 \cdot 10^5 МПа$ - модуль упругости материала буксы.

Остальные масштабы являются производными и вычисляются через масштабы выбранные выше. Так масштаб подобия по напряжениям равен

$$m_\sigma = \frac{m_p}{m_l^2} = \frac{556}{2{,}5^2} = 89.$$

Модель выполнена полностью геометрически подобной натурному узлу, что касается корпуса, шейки оси. В связи с трудностью изготовления конических роликов,

они выполнены цилиндрическими. Не моделировались также крышки корпуса. В натурном узле крышка изготовлена из листа малой толщины, имеет малую жесткость и ее отсутствие в модели не должно привести к существенным погрешностям.

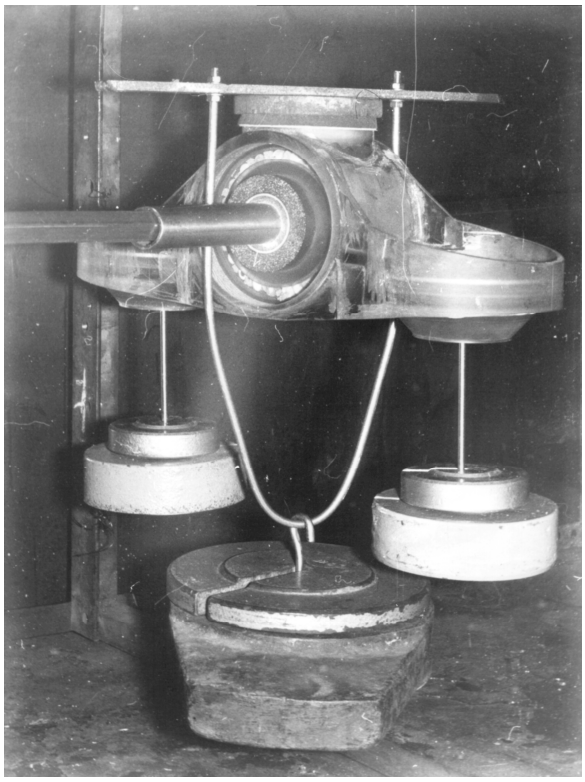


Рис.2. Приспособление для нагружения модели буксы электропоезда TGV

Приспособление для нагружения модели буксы представлено на рис. 2. В модель оси вставлена трубка, через которую пропущен железный стержень, жестко закрепленный в термошкафе. Нагрузка на модель прикладывалась с помощью грузов, на опорные поверхности кольца, расположенного на верхнем своде корпуса и кронштейнов, она прикладывалась через кольца из губчатой резины.

В связи с тем, что модель буксового узла является массивной, применялся довольно мягкий режим «замораживания»: разогрев до температуры 60 С в течение 3-х часов, выдержка 12 часов при данной температуре, подъем температуры до 95 С в течение 8-и часов с промежуточными выдержками в течение часа. Затем выдержка в течение 2-х часов при температуре 95 С и постепенное охлаждение модели при отключенном подогреве термошкафа. После «замораживания» модель буксы была разрезана на срезы, срединные плоскости которых параллельны осевой линии буксы. Перед разделением на срезы все полости подшипника были заполнены эпоксидным клеем с тем, чтобы срез по роликам подшипника получался монолитным. По переднему ряду роликов выполнено четыре среза на вертикально фрезерном станке с использованием дисковой фрезы диаметром 200 мм и толщиной 2 мм. Резание осуществлялось при скорости 100 об/мин с водяным охлаждением фрезы. С целью улучшения прозрачности срезов их поверхность шлифовалась тонкой наждачной шкуркой и смазывалась вазелиновым маслом. Толщины срезов по роликам в порядке их нумерации от переднего торца буксы составили 2,7; 3; 4; 2 мм. Срезы помещались в поле поляризационно-проекционной установки ППУ-7 и фотографировались с использованием репродукционных штриховых сверх контрастных фотопластинок светочувствительностью 5,5-6 единиц ГОСТа.

Картина изохром для среза № 3 по переднему ряду роликов приведена на рис. 3. Для определения усилия, приходящегося на ролик, использовался диск диаметром 20 мм и толщиной 5 мм. Он помещался в реверсор универсального пресса УП-7 и в поле установки ППУ-7 и нагружался сжимающим усилием по его диаметру. Для определения усилия, приходящегося на ролик, эталонный диск нагружался так, чтобы картина изохром полностью совпадала с картиной изохром в срезе ролика.

Рис.3. Картина изохром для среза № 3 по переднему ряду роликов подшипника

В табл. 1 приведены значения относительных нагрузок для срезов роликов переднего ряда. В подшипнике ролики пронумерованы по часовой стрелке, начиная с верхнего ролика, расположенного на вертикальной оси подшипника. Нумерация роликов соответствует нумерации, приведенной на рис. 4.

Таблица 1. Относительные усилия для срезов роликов переднего ряда подшипника буксы высокоскоростного электропоезда TGV

Номер среза	Номера роликов								
	1	2	3	4	5	18	19	20	21
1	21,25	20,17	12,6	4	1,2	0,53	8,6	20,6	24,6
2	21,44	20	13,6	5,7	0,7	1	7,87	18,6	20,8
3	22,4	19,7	13,9	5,3	0,33	2,7	12,3	18,64	20,8
4	18,67	20,8	7,4	3,7	0,1	1,4	7,4	14,2	20,8

На рис. 5 приведено распределение суммарных относительных усилий, приходящихся на ролики переднего ряда. Нагруженными оказались 9 роликов, угол охвата нагруженных роликов равен 137,1º. Закон распределения нагрузки носит одномодальный характер. Максимальная нагрузка на верхние ролики составляет 21% …22,9%. Полученное распределение усилий больше похоже на распределение, представленное на рис. 5а, полученное для плоской модели при нагружении на верхний свод корпуса буксы. Только из-за того, что часть вертикальной нагрузки передается через кронштейны, нагрузилось большее число роликов подшипника.

С использованием срезов исследовано общее напряженное состояние корпуса буксы. Квазиглавные напряжения на свободных контурах срезов определены методом полос. Напряжение в любой точке контура модели определялось с использованием зависимости

$$\sigma_M = m \cdot \sigma_0^d,$$

где m - порядок полосы в исследуемой точке контура;

σ_0^d - цена полосы материала толщиной d.

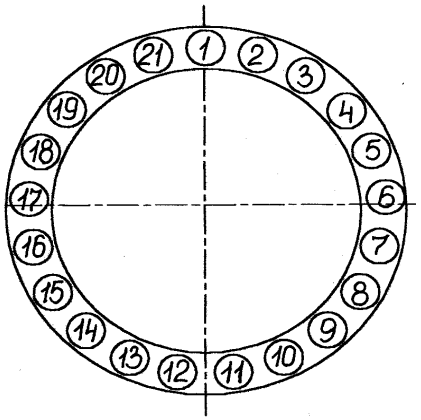


Рис.4. Схема нумерации роликов в подшипнике

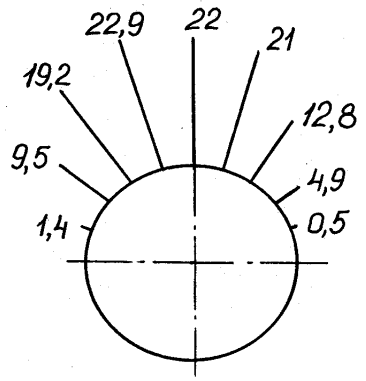


Рис.5. Распределение суммарных относительных усилий, приходящихся на ролики переднего ряда подшипника (%)

$\sigma_0^d = \dfrac{\sigma_0^{1,0}}{d}$, где $\sigma_0^{1,0}$ - цена полосы материала толщиной 1 см.

Пересчет напряжений от модели к натурной детали был выполнен с использованием зависимости

$$\sigma_H = m_\sigma \cdot m \cdot \sigma_0^d = 3{,}622 \cdot \frac{m}{d}$$

В целом по корпусу буксы напряжения достаточно низкие. Обнаружены наиболее напряженные области корпуса буксы. Ими являются вертикальные ребра в местах примыкания их к стенке корпуса. Напряжения здесь достигают 52,3 МПа.

Список литературы: 1. Невмержицкая Г.В. Исследование законов распределения нагрузок на тела качения буксовых подшипников на плоских моделях методом фотоупругости // Динамика и прочность транспортных машин: Сб. науч. тр. – Брянск, 1998.-с.178-181. 2. Невмержицкая Г.В., Ольшевский А.А., Сакало В.И. Исследование нагруженности деталей буксового подшипника. Вестник БГТУ, №4 - Брянск, 2004.-5 с. 3. 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.

КОМПЬЮТЕРНАЯ ИНТЕГРАЦИЯ ПОДСИСТЕМ СОВРЕМЕННОГО ГРУППОВОГО ПРОИЗВОДСТВА

Ракунов Ю.П., Абрамов В.В. *(Московский государственный строительный университет (Национальный исследовательский университет). Ярославское шоссе, 26, Москва, 129337, Россия)*

Abstract *The purpose of this work is to form the stages of the goals and tasks of computer integration (synthesis) of components and subsystems of modern group progressive production, increasing its planned organization and clearly regulating its technical content. Here, the methodology of "analysis-synthesis" of a multilevel basic technology is used - as two basic basic methods of scientific knowledge. The distribution of information levels by technology levels is the basis of organization and decision-making technology at all stages of group production. Reliable and timely information is the basis for managing the main flows in production: material and energy. Synthesis of components and computer-aided design (CAD) systems in a modern enterprise can be carried out using the latest information technology, the so-called computer integrated production system (CIPS). This system is an information basis (knowledge base with data banks) for the implementation of the new technological structure and the fourth version of the industrial revolution - Industry 4.0. In the article, the basic components of CIPS (or CIM) are presented, with the help of which it is possible to realize the principle of through design and technological design-manufacturing of products based on group technology. Two main tasks of creating CIPS are considered. The order (algorithm) of work on the technical preparation of group automated production is developed. The end-to-end system for processing design and technological information in the preparation and management of the production of elements of the "Buran" product is considered. The system of interaction between the subsystems of automated technological production training (SISA TPT) is presented. The stages of solving the problems of combining CAD and ASTPT (subsystems) into a single SISA TPT are considered, which allows to shorten the cycle of creating complex products from the beginning of design to the readiness of the prototype in 2 ... 3 times and from the beginning of the production for serial production to the readiness of the first serial product in 3 ... 4 times, get a significant economic effect.*

Keywords: *computer integrated production system, group technological processes, "analysis-synthesis" method, multi-level basic technology, design automation, group instrumental adjustment, type of cutters of unified structures, "Industry 4.0".*

Решение задачи импортозамещения и перевода экономики с экстенсивного на интенсивный путь развития вызывает необходимость существенного совершенствования организации и управления производственными системами на всех уровнях [1].

Совершенствование организации и управления должно удовлетворять требованиям, направленным, во-первых, на повышение эффективности производства, во-вторых, на учёт всё возрастающей сложности его организации и технической подготовки и, в-третьих, на использование новых форм и методов решения взаимосвязанного комплекса задач развития техники, групповой технологии, организации и экономики производства [2].

Практика отечественного и зарубежного машиностроения показывает, что при создании перспективных изделий с технико-экономическими показателями, на уровне лучших мировых образцов, должна быть поставлена задача не только автоматизации и механизации всех видов групповых технологических процессов (ГТП) и применения передовых конструктивно-технологических решений, но и принципиально новой организации производства, предусматривающей существенное изменение его структуры в целях сокращения и удешевления процесса создания изделий. Без этого даже самые новые технологические решения, заложенные при проектировании изделий, могут ока-

заться устаревшими к моменту выпуска серийного образца, а сами изделия – неконкурентоспособными на мировом рынке [3, 12-16].

Совершенствование производственной структуры опытных и серийных предприятий особенно важно в условиях, когда на них производятся изделия различных типоразмеров (ТР) и моделей, т.е. в мелкосерийном многономенклатурном производстве [4].

Применение современных методов организации и автоматизации группового производства позволяет использовать для выпуска новых конкурентоспособных изделий путь конструкторско-технологической гибкости, при котором обеспечивается высокая оперативность внесения изменений, возможность применения самых новых технических достижений, даже если они возникли в процессе производства изделия, способность быстро перестраиваться в соответствии с изменением условий планирования, финансирования, требований заказчика, конъюнктуры рынка и пр. [5].

Один из путей достижения максимальной эффективности группового промышленного производства – объединение различных компонентов и систем производственного предприятия на основе новейшей информационной технологии, так называемой компьютеризированной интегрирований производственной системы (КИПС или CIM), КИПС представляет собой комбинацию программных, аппаратных и технических средств, предназначенных для проектирования изделий, планирования производства, управления производственными процессами, проектирования оборудования, оснастки и инструмента, а также для осуществления производственного процесса и обеспечения качества продукции [1]. На всех уровнях систем КИПС используются вычислительные средства (например, базы данных), системы и алгоритмы автоматизированного проектирования (САПР), методы моделирования, программное управление оборудованием (рис. 1).

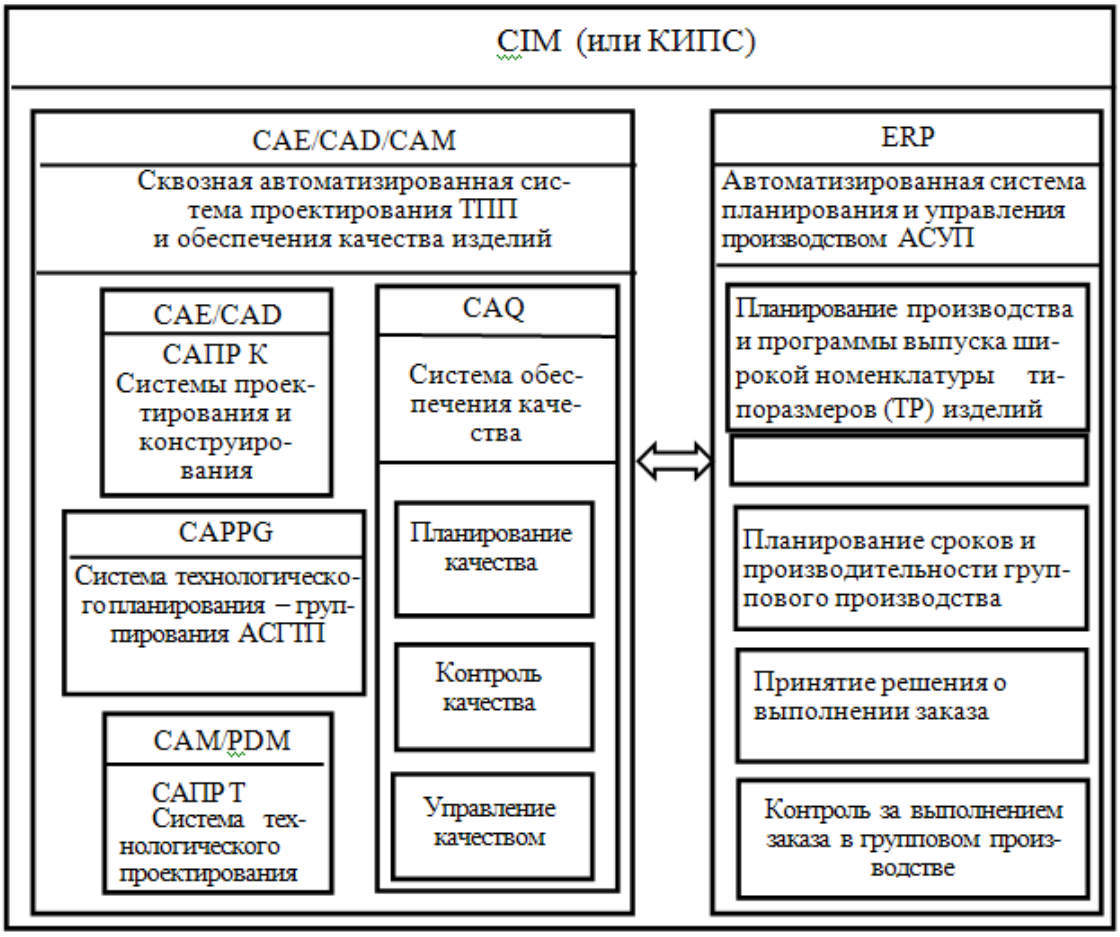


Рис. 1. Основные компоненты компьютеризованной системы (CIM или КИПС)

Таким образом, представляется актуальным создание компьютеризированной интегрированной производственной системы, с помощью которой возможно реализовать принцип сквозного конструкторско-технологического проектирования – изготовления изделий с охватом как опытного, так и серийного производства на основе групповой технологии, обеспечивающей высокую гибкость процесса [6].

Разработка КИПС представляет собой сложную многоаспектную и многоступенчатую задачу. Однако на большинстве предприятий ряда передовых отраслей машиностроения есть достаточно серьёзные предпосылки для её успешного решения: программно-управляемое технологическое оборудование (станки с ЧПУ), программно-перестраиваемые средства автоматизации вспомогательных операций (промышленные роботы, автоматизированные склады, транспорт), современные технические средства автоматизации управления (ЭВМ и микропроцессоры), автоматизированные системы проектирования и конструирования (САПР), управления производством (АСУП) и технологической подготовки производства (АСТПП), управления групповыми технологическими процессами (АСУГТП) или их компонентами [1,2].

Для таких предприятий создание КИПС станет организующим фактором, который позволит подчинить перечисленное оборудование, технические средства и системы единой задаче – ускорению группового производства, во много раз увеличить эффективность их использования [2-4].

На рис. 2 показан порядок проведения работ по технической подготовке производства на основе методов групповой обработки в условиях функционирования КИПС. При создании нового изделия на авиационно-производственном объединении указанные выше предпосылки, имеющийся опыт и проведённые поисковые разработки дали возможность сформулировать основную идею и определить этапы создания КИПС изделий совместными усилиями ОКБ, опытного предприятия, серийного завода и отраслевого НИИ. В отличии от разработки ГТП на основе «комплексной» детали, предлагается методика группирования деталей, проходящих через «сетку» групповых инструментальных наладок (ГИН), составленных из унифицированных режущих инструментов (УРИ), спроектированных специально для реализации ГТП. Такая методика и типаж УРИ с примерами синтеза ГИН представлена в ряде работ [6 -11].

Основная идея КИПС заключается в том, чтобы, создав силами ОКБ и опытного предприятия систему сквозного проектирования – изготовления опытных изделий, транслировать ее через единую вычислительную интерсеть на серийный завод (заводы), где должно быть организовано параллельное изготовление серийных изделий по управляющим программам на оборудовании с ЧПУ, отработанном в опытном производстве. Главным условием для реализации этой цели является аппаратная и программная совместимость базовых программных и технических средств систем (САПР, АСУП, АСТПП, АСУТП и др.) как в опытном, так и в серийном производстве и идентичность основного технологического оборудования с ЧПУ, используемого для опытного и серийного группового изготовления изделий. Такая система является информационной базой знаний с банками данных для реализации нового технологического уклада и 4-ой промышленной революции «Индустрия версии 4,0» (Industry 4.0) [12,22-24]. В последнее время эволюции искусственного интеллекта посвящено множество работ [13 -21].

В процессе создания КИПС решаются две основные задачи.

Первая – интеграция процессов управления, конструирования, технологической подготовки производства, автоматизированного изготовления, контроля и испытания

изделий в единую интегрированную систему сквозного проектирования и изготовления изделий в опытном производстве.

Вторая – создание аналогичной системы на принципах групповой технологии на серийном заводе. Подобная производственная система была создана и функционировала при изготовлении формообразующих конструктивных элементов теплозащиты многоразового космического корабля «Буран». На рис. 3 приведена схема организации сквозной системы обработки конструкторско-технологической информации [1].

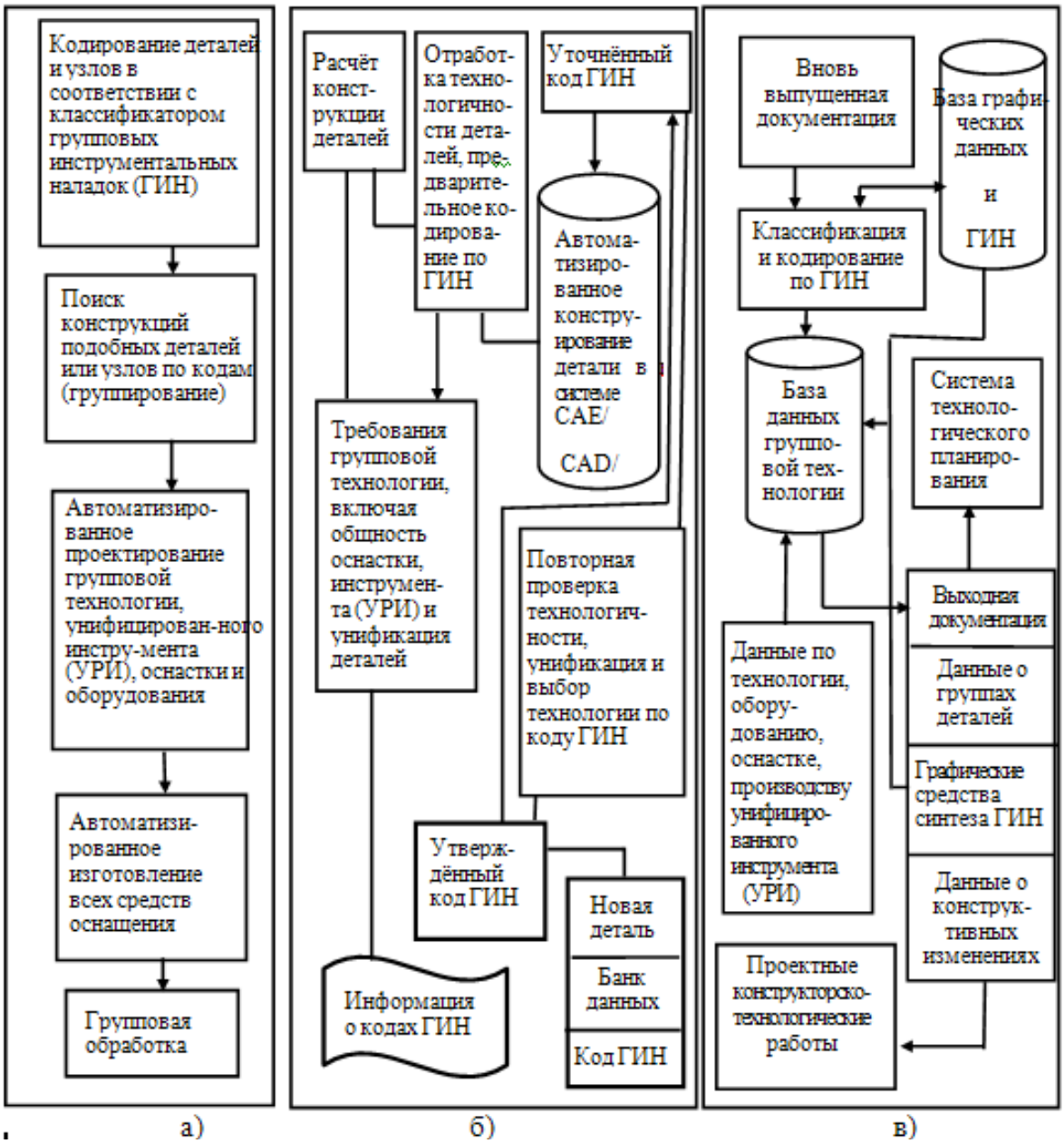


Рис. 2. Порядок проведения работ по технической подготовке производства в групповом автоматизированном производстве: а – порядок выполнения работ при групповой обработке в системе CAE/CAD/CAM; б – порядок присвоения кода и группирование деталей в процессе проектирования; в – формирование базы данных групповой технологии и синтеза групповых инструментальных наладок (ГИН)

Первым этапом решения задач является объединение САПР и АСТПП в единую интегрированную систему технической подготовки производства (ИСА ТПП) на базе общих банков конструкторско-технологических данных.

Достигаемая цель – совмещение решений конструкторских и технологических задач на самой ранней стадии проектирования, достижение высокой технологичности, оптимальность принимаемых конструкторско-технологических решений; одновременное получение конструкторских и технологических выходных данных (КТД) в памяти ЭВМ. Результат – сокращение цикла проектирования в 2 раза.

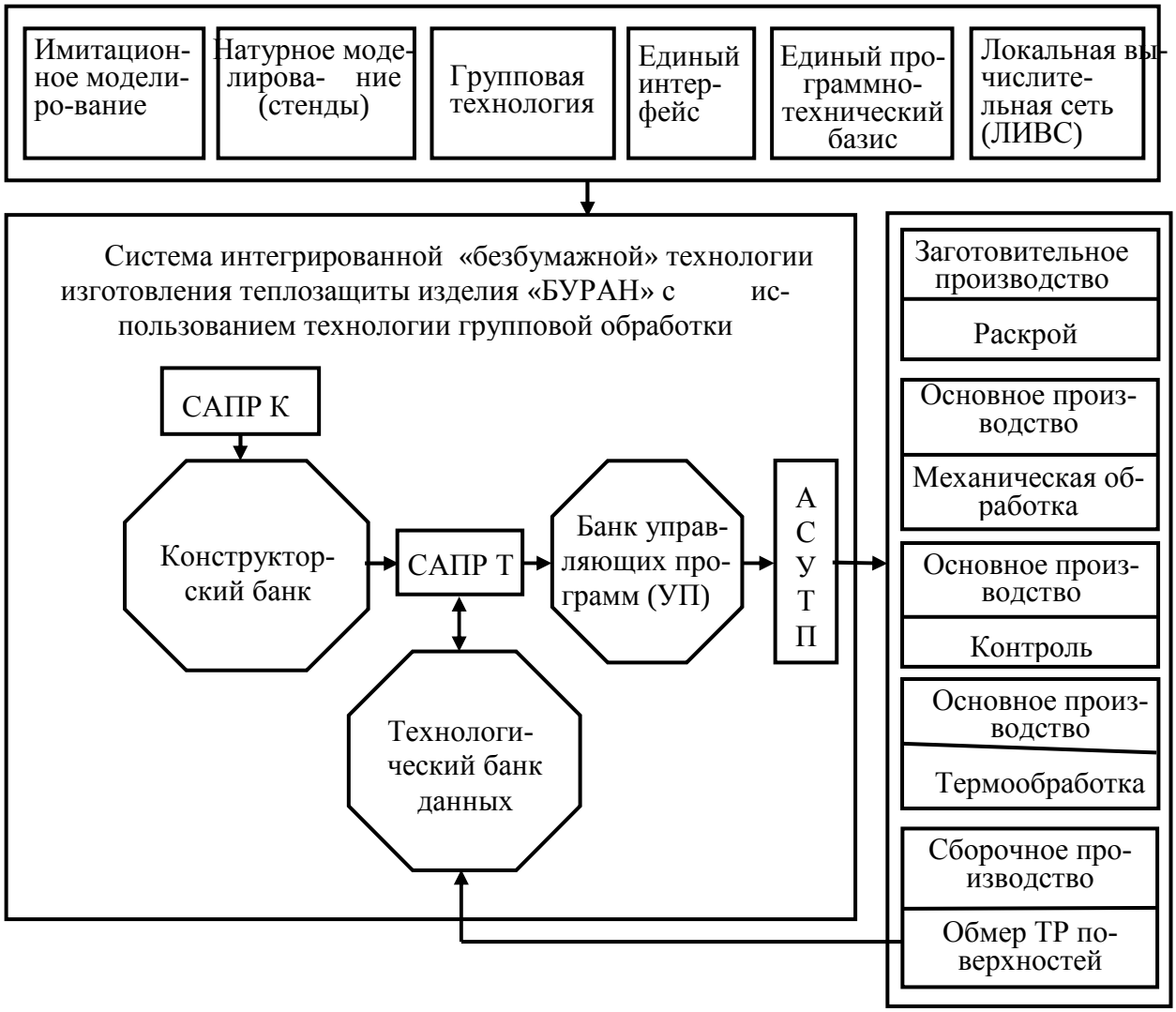


Рис. 3 Сквозная система обработки конструкторско-технологической информации в подготовке и управлении производством элементов изделия («Буран»)

Второй этап – объединение ИСА ТПП и АСУТП (ГПС обработки) опытного производства в единую интегрированную производственную систему сквозного проектирования и изготовления деталей опытных изделий на базе общей локальной информационно-вычислительной сети (ЛИВС). Достигаемая цель – совмещение в пространстве и времени этапов выхода КТД с началом обработки деталей в производственном цехе путём прямого машинного управления технологическим оборудованием с ЧПУ от

ЭВМ, упразднение чертежа как носителя исходных данных для подготовки управляющих программ (УП), достижение абсолютной гибкости при внесении конструкторских изменений.

Третий этап – присоединение к КИПС производственных систем сборки агрегатов и узлов, испытаний готовых узлов и превращение её в единую интегрированную систему сквозного проектирования и изготовления агрегатов и узлов опытных изделий. Достигаемая цель – организация программно-управляемой поточной сборки агрегатов на базе поточно-групповых методов автоматизированного изготовления деталей, идущих на сборку агрегатов; постановка агрегатов на сборку по графику. Результат – сокращение цикла сборки, уменьшение времени ожидания (пролёживания) деталей, сокращение межоперационных заделов.

Четвёртый этап – присоединение к КИПС производственных систем окончательной сборки и испытаний готовых изделий и превращение её в единую интегрированную систему сквозного проектирования и изготовления опытных изделий. Достигаемая цель – организация программно-управляемой поточной сборки изделий на базе поставляемых по графику узлов и агрегатов. Результатом второго - четвёртого этапов является сокращение цикла изготовления опытного изделий в 2...2,5 раза.

Вторая задача создания КИПС включает: передачу на серийное предприятие общего и специального программного обеспечения (ПО), необходимого и достаточного для генерации единой компьютеризированной интегрированной производственной системы автоматизированного изготовления изделий в серийном производстве; передачу пакетов УП, по которым в опытном производстве осуществлялась обработка деталей и узловая, агрегатная и окончательная сборка. Достигаемая цель – автоматизированное изготовление изделий, начиная с первой машины по УП, обработанным в опытном производстве; возможность внесения изменений на машинном уровне; возможность быстрого перехода на изготовление нового изделия путём замены только специального ПО. Результат – сокращение цикла запуска и изготовления серийного изделия в 3 раза.

Список литературы: 1. Технология и организация группового машиностроительного производства: в 2-х ч. Ч.1 Основы технологической подготовки группового производства // С.П. Митрофанов, А.Г. Братухин, О.С. Сироткин и др. – М.: Машиностроение. 1992. – 480 с. **2.** Технология и организация группового машиностроительного производства: в 2-х ч. Ч.2 Организация группового производства // С.П. Митрофанов, А.Г. Братухин, О.С. Сироткин и др. – М.: Машиностроение. 1992. – 425 с. **3**. Митрофанов С.П. Групповая технология машиностроительного производства: в 2-х т. Т.1 Организация группового производства. – Л.: Машиностроение. Ленингр. отд-ние. 1983.-407 с. **4.** Групповое производство – организационно-технологическая основа гибких производственных систем // Материалы научно-технического семинара ЛДНТП. Л. 1986. **5.** Синго С. Быстрая переналадка: Революционная технология производства / Сигео Синго; Пер. с англ. М.: Альпина Бизнес Букс, 2006. –384 с. **6.** Ракунов Ю.П. Золотова Н.А. Методология построения подсистемы синтеза многоуровневой базовой технологии в групповом производстве // Сб. материалов науч.-практ. конф. «Технологическое обеспечение качества машин и приборов». – Пенза, 2004. С.210-214. **7.** Ракунов Ю.П. Типаж унифицированных резцов с назначением режимов резания для прецизионных то-

карных станков с программным управлением // Технологии ремонта, восстановления и упрочнения деталей машин, механизмов, оборудования, инструмента и технологической оснастки от нано- до макроуровня: Материалы 13-й междунар. науч.-практ. конф. – СПб., 2011 г., С.399-404. **8.** Ракунов Ю.П. Управление качеством токарной обработки высокоточных деталей машин // Наукоёмкие технологии в машиностроении. – № 2, 2013. – С.36-48. **9.** Ракунов Ю.П. Подсистема синтезирования многоуровневой базовой технологии // Наукоёмкие технологии в машиностроении. – №10, 2012. – С.36-46. **10.** Ракунов Ю.П., Абрамов В.В., Боровских А.В. Разработка комплексной САПР групповых технологических процессов//Механизация строительства. 2014. №11.С.56-60. **11.** Ракунов Ю.П., Абрамов В.В., Богацкая И.Г. Методика проектирования групповых инструментальных наладок // Механизация строительства. 2015. №2. С.56-60. **12.** Гладышева И.В. Роль автоматизации операционных процессов в развитии производственной системы предприятий // Цифровая экономика и «Индустрия-4,0»: проблемы и перспективы: труды науч.-практ. конференция с междунар. участием/под ред. д.э.н. проф. А.В. Бабкина – СПб. Изд-во Политех. Ун-та. 2017.- С.279-287. **13.** J. Hendler, “Avoiding Another AI Winter”, IEEE. Intell, Syst., vol. 23, pp. 2-4, 2008. **14.** R. Teti and S.R.T. Kumara, “Intelligent Computing Methods for Manufacturing Systems”, CIRP Ann-Manuf. Technol., vol. 46, pp. 629-652, 1997. **15.** P. Kopacek, “Intelligent Manufacturing: Present State and Future Trends”, J. Intell. Robot. Syst., vol. 26, pp. 217-229, 1999. **16.** H. Setoya, “History and review of the IMS (Intelligent Manufacturing Systems), in International Conference on Mechatronics and Automation, 2011, pp. 30-33. **17.** L. H. Wang, M. Torngren, and M. Onori, “Current status and advancement of cyber-physical systems in manufacturing”, J. Manuf. Syst., vol. 37, pp. 517-527, 2015. **18.** D. Z. Wu, D. W. Rosen, L. H. Wang, and D. Schaefer, “Cloud-based design and manufacturing: A new paradigm in digital manufacturing and design innovation”, Comput. Aided Design., vol. 59, pp. 1-14, Feb 2015. **19.** S. Batra, “Big Data Analytics and its Reflections on DIKW Hierarchy”, Rev. Manage., vol. 4, pp. 5-17, 2014. **20.** P. O’Donovan, K. Leahy, K. Bruton, and D. T. J. O’Sullivan, “Big Data in manufacturing: a systematic mapping study”, J. Big Data, vol. 2, pp. 1-22, 2015. **21.** D. Zuehlke, “SmartFactory-Towards a factory-of-things”, Annu. Rev. Control., vol. 34, pp. 129-138, Apr 2010. **22.** Бондаренко А.В. Факторы обеспечения устойчивого развития предприятий авиационной промышленности // Цифровая экономика и «Индустрия-4,0»: проблемы и перспективы: труды науч.-практ. конф. с междунар. участием/под ред. д.э.н. проф. А.В. Бабкина – СПб. Изд-во Политех. Ун-та. 2017.- С.617-627. **23.** Скоробогатов А.С., Кобзев В.В. Подход к решению задачи обоснования технологии изготовления готовой продукции промышленного предприятия // Там же. – С.662-667. **24.** P. J. Mosterman and J. Zander, “Industry 4.0 as a Cyber-Physical Systems study”, Software and Systems Modeling, vol. 15, pp. 17-29, Feb 2016.

СОДЕРЖАНИЕ

Аверченков В.И., Надуваев В.В., Фролов Е.Н.
ОСНОВЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ СИСТЕМ……. **6**

Акопян Н.Х.
ДИНАМИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТРЕХПОДВИЖНОГО ПАРАЛЛЕЛЬНОГО МИКРОМАНИПУЛЯТОРА…… **10**

Антимонов А.М., Пушкарева Н.Б.
ТЕХНОЛОГИЯ И ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ТОПЛИВОПРОВОДНЫХ ТРУБ ДЛЯ ДИЗЕЛЬНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ……. **13**

Анцев А.В., Данг Х.Ч., Янов Е.С.
ОЦЕНКА ПАРАМЕТРОВ ОБОБЩЕННОЙ СТОХАСТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ОТКАЗОВ РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА С ПОМОЩЬЮ НЕПРЕРЫВНОГО КОСВЕННОГО КОНТРОЛЯ ПРОЦЕССА РЕЗАНИЯ…… **17**

Архипов В.Е., Лондарский А.Ф., Москвитин Г.В., Пугачев М.С., Дмитриев В.Г., Бугаев Н.М.
ВОССТАНОВЛЕНИЕ ПОВЕРХНОСТИ ИЗДЕЛИЙ МАШИНОСТРОЕНИЯ ГАЗОДИНАМИЧЕСКИМ НАПЫЛЕНИЕМ…… **21**

Белашова И.С., Горшков А.А., Коровайцева Е.А., Ломовской В.А., Ломовская Н.Ю.
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЛОКАЛЬНЫХ ОБЛАСТЕЙ НЕУПРУГОСТИ В МАТЕРИАЛАХ РАЗЛИЧНОЙ ПРИРОДЫ, СТРОЕНИЯ И СТРУКТУРЫ ПО ДАННЫМ ДИНАМИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ИССЛЕДОВАНИЯ……... **25**

Белашова И.С., Кузьмин С.Д.
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РАСЧЕТНЫХ МЕТОДОВ ДЛЯ АНАЛИЗА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ВЫСОКОЭФФЕКТИВНОЙ ОБРАБОТКИ И ПРОГНОЗИРОВАНИЯ СВОЙСТВ ОБРАБАТЫВАЕМЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ.. **28**

Беляков А.М., Ковеленов Н.Ю., Михайлов С.В.
СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СМЕННЫХ МНОГОГРАННЫХ ПЛАСТИН ДЛЯ ОБРАБОТКИ НЕРЖАВЕЮЩИХ И ЖАРОПРОЧНЫХ СПЛАВОВ……. **31**

Борзов Д.Б., Басов Р.Г.
ОБЗОР АЛГОРИТМОВ РАСПАРАЛЛЕЛИВАНИЯ ДАННЫХ В МУЛЬТИПРОЦЕССОРНЫХ СИСТЕМАХ……. **34**

Борзов Д.Б., Басов Р.Г.
АЛГОРИТМ ПЛАНИРОВАНИЯ ЗАГРУЗКИ ПРОЦЕССОРОВ В МУЛЬТИПРОЦЕССОРНЫХ СИСТЕМАХ……. **37**

Борзов Д.Б., Сизов А.С.
УСТРОЙСТВА ПЛАНИРОВАНИЯ РАЗМЕЩЕНИЯ ПОДПРОГРАММ В КУБИЧЕСКИХ И КУБИЧЕСКИХ ЦИКЛИЧЕСКИХ МУЛЬТИПРОЦЕССОРНЫХ СИСТЕМАХ…….. **40**

Бохонский А.И., Варминская Н.И.
ТЕНДЕНЦИИ В ИНЖЕНЕРНОМ ОБРАЗОВАНИИ……... **44**

Бугаев Н.М., Горшков А.А., Коровайцева Е.А., Ломовской В.А., Ломовская Н.Ю.
ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ПРИМЕНЕНИЯ ЯДРА РАБОТНОВА ПРИ ОПИСАНИИ РЕЛАКСАЦИОННЫХ ДИССИПАТИВНЫХ ПРОЦЕССОВ……. **46**

Букин С. Л., Беловодский В. Н.
О ПРИМЕНЕНИИ ПРУЖИН СЖАТИЯ С ПРОГРЕССИВНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКОЙ В КАЧЕСТВЕ КОНСТРУКТИВНОЙ БАЗЫ УПРУГОЙ СИСТЕМЫ ВИБРОМАШИН……. **48**

Буленков Е. А., Лебедь Я. А.
КОМПОНОВОЧНЫЕ РЕШЕНИЯ МНОГОНОМЕНКЛАТУРНЫХ РОТОРНЫХ ЛИНИЙ……. **56**

Бутенко В.И., Кулинский А.Д., Шаповалов Р.Г.
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОТЕНЦИАЛА ТРИБОКОНТАКТА ДЕТАЛЕЙ В РЕЖИМЕ ГРАНИЧНОГО ТРЕНИЯ……. **57**

Ваулин С.Д., Волошина И.А.
ИНЖЕНЕРНАЯ ПОДГОТОВКА СТУДЕНТОВ И ПОВЫШЕНИЕ КВАЛИФИКАЦИИ ВУЗОВСКИХ ПРЕПОДАВАТЕЛЕЙ И СПЕЦИАЛИСТОВ ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ КРУПНЫХ НИОКТР…… **62**

Веремейчик А.И., Хвисевич В.М.
ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ФОРМЫ РАБОЧЕЙ ПОВЕРХНОСТИ ПУАНСОНА ПРИ ПРОБИВКЕ ОТВЕРСТИЙ……. **67**

Войтюк К.А., Костенко А.В.
ТЕСТОМЕСИЛЬНЫЕ МАШИНЫ…… **71**

Волочко А.Т., Изобелло А.Ю., Басалай А.В., Биленко Э.Г., Сможевский И.И., Чмеренко А.Н., Гусаров С.В.
ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПЛАСТИЧНОСТИ ЛИТОГО СПЛАВА НА КОБАЛЬТ-ХРОМОВОЙ ОСНОВЕ ПРИ ПРОДОЛЬНОЙ ОСАДКЕ…….. **74**

Гелюх П.А., Шукюров Д.Р., Фазилова З.Т., Дмитриев В.Г., Бугаев Н.М.
МОДЕЛИРОВАНИЕ УЧАСТКОВ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ПУТИ ПЕРЕМЕННОЙ ЖЕСТКОСТИ……. **77**

Герасимов А. В., Кирпичников А. П., Сабирова Ф. Р.
СОПРЯЖЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ЭЛЕКТРОДИНАМИКИ И ТЕПЛООБМЕНА В ГАЗОРАЗРЯДНОЙ КАМЕРЕ ВЫСОКОЧАСТОТНОГО ИНДУКЦИОННОГО ПЛАЗМОТРОНА…….. **81**

Гненный А.А.
МЕТОДИКА СИНТЕЗА ОПТИМАЛЬНОГО ПАРАМЕТРИЧЕСКОГО РЯДА ИМПУЛЬСНЫХ ПНЕВМАТИЧЕСКИХ ПРИВОДОВ ДЛЯ ГВОЗДЕЗАБИВНЫХ ПИСТОЛЕТОВ……. **87**

Голубов Н.В., Горобец И.А., Мугандин В.К.
ТОЧНОСТЬ ЭЛЕКТРОЭРОЗИОННОЙ ОБРАБОТКИ…… **92**

Горленко О.А., Симкин А.З.
ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ОТНОСИТЕЛЬНЫХ ОПОРНЫХ ДЛИН ШЕРОХОВАТОЙ ПОВЕРХНОСТИ……. **95**

Горобец И.А., Голубов Н.В., Мишенин А.И.
КРИТЕРИИ ВЫБОРА СРЕДСТВ САПР ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВКИ ПРОИЗВОДСТВА…….. **99**

Григорьева Н. С., Шабайкович В. А.
СОВРЕМЕННАЯ ПРОБЛЕМА РАЗВИТИЯ МАШИНОСТРОЕНИЯ - НЕУДАЧНЫЕ РЕФОРМЫ……. **102**

Григорьева Н.С., Шабайкович В.А.
МАЛОЗАТРАТНОЕ ИЗГОТОВЛЕНИЕ ПРОДУКЦИИ…….. **108**

Грубка Р. М., Недашковский А. П., Михайлов А. Н., Петряева И. А., Байчоров А. А.
АЛГОРИТМ СИНТЕЗА ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ГЕОМЕТРИЙ ЗУБЬЕВ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ КОЛЕС, РАБОТАЮЩИХ ПРИ НАЛИЧИИ ПОГРЕШНОСТЕЙ И ДЕФОРМАЦИЙ ЭЛЕМЕНТОВ ПЕРЕДАЧ…… **113**

Гусев В.В., Писарева А.Г., Афендиков А.Г.
ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТИ ОБРАБОТКИ ОБТЕКАТЕЛЕЙ ЗА СЧЕТ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ…… **119**

Гусев Е.Л.
РАЗРАБОТКА И ПРИМЕНЕНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ОПТИМАЛЬНОЙ СЛОЖНОСТИ В УТОЧНЕННЫХ ВАРИАЦИОННЫХ ПОСТАНОВКАХ ОБРАТНЫХ ЗАДАЧ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ И КОНСТРУКЦИЙ……. **123**

Данияров Н.А., Келисбеков А.К.
К ВОПРОСУ РАЗРАБОТКИ И ЭКСПЛУАТАЦИИ МНОГОПРИВОДНОГО ПЛАСТИНЧАТОГО КОНВЕЙЕРА…… **127**

Девойно О.Г., Кардаполова М.А., Луцко Н.И., Лапковский А.С.
РЕЖИМЫ ЛАЗЕРНОЙ НАПЛАВКИ И ГЕОМЕТРИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ ВАЛИКОВ ИЗ РАЗЛИЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ ПРИ НАНЕСЕНИИ МУЛЬТИМОДАЛЬНЫХ ПОКРЫТИЙ……. **131**

Джура С.Г., Чурсинов В.И, Якимишина В.В.

РАЗВИТИЕ ИННОВАЦИОННЫХ МЕТОДОВ РАСЧЕТА
СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ НА ПРИМЕРЕ ПРОГРАММ CSOFT…….. **135**

Дуйшеналиев Т.Б., Дуйшембиев А.С., Хроматов В.Е., Щугорев В.Н.
НЕКЛАССИЧЕСКИЙ ПОДХОД К РЕШЕНИЮ СТАТИЧЕСКОЙ КРАЕВОЙ
ЗАДАЧИ…… **139**

Егоров Н.Т.
ПОВЫШЕНИЕ УРОВНЯ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ТОЛСТОЛИСТОВЫХ
НИЗКОЛЕГИРОВАННЫХ СТАЛЕЙ ДЛЯ СВАРНЫХ МЕТАЛЛОПРОДУКЦИЙ
И СУДОСТРОЕНИЯ……... **146**

Егоров П.В., Чупраков М.В., Гиммельберг А.С., Шарапова Н.Е., Эрнандес А.Д.
СОЗДАНИЕ ДЕАЭРАТОРА АТМОСФЕРНОГО ДАВЛЕНИЯ ДЛЯ КРУПНЫХ
СИСТЕМ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ……... **150**

Еремин Е.Н., Лосев А.С., Бородихин С.А., Пономарев И.А., Маталасова А.Е.
СТРУКТУРА И СВОЙСТВА ПОКРЫТИЙ ИЗ ХРОМИСТОЙ СТАЛИ
НАПЛАВЛЕННЫХ ПОРОШКОВОЙ ПРОВОЛОКОЙ ЛЕГИРОВАННОЙ
КАРБИДОМ БОРА…… **154**

Еремин Е.Н., Миннеханов Г.Н., Миннеханов Р.Г.
ПРИМЕНЕНИЕ МОДИФИЦИРОВАНИЯ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА
ДЕТАЛЕЙ ЗАПОРНОЙ АРМАТУРЫ…….. **158**

Ермишкин В.А., Соловьева Ю.Б.
МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ХАРАКТЕРА РАЗРУШЕНИЯ ПО ДАННЫМ
ФОТОМЕТРИЧЕСКОГО АНАЛИЗА СТРУКТУРНЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ…….. **162**

Ермишкин В.А., Соловьева Ю.Б., Минина Н.А., Кулагин С.П., Томенко А.К.
ВЛИЯНИЕ ТИТАНОВОГО ПОКРЫТИЯ НА СОПРОТИВЛЕНИЕ
РАЗРУШЕНИЮ СПЛАВА В 95……. **167**

Ершова А.Ю., Мартиросов М.И.
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ЭЛЕМЕНТАРНЫХ ОБРАЗЦОВ
ИЗ УГЛЕПЛАСТИКА ПРИ РАЗЛИЧНЫХ ТЕМПЕРАТУРНО-ВЛАЖНОСТНЫХ
РЕЖИМАХ……... **172**

Жиляев С.В., Кугультинов С.Д., Щенятский А.В., Попов И.В.
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ПРОЦЕССА РАСТАЧИВАНИЯ
КРУПНОГАБАРИТНЫХ ДЕТАЛЕЙ ИЗ ТИТАНОВОГО СПЛАВА ВТ6…… **175**

Заляева Г.О., ЛепскаяЮ.П.
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ ВАЛКОВОЙ ДРОБИЛКИ-
ГРЕБНЕ ОТДЕЛИТЕЛЯ……...……..... **178**

Заплетников И.Н., Пильненко А.К., Квилинский О.Д., Савченко С.М.
ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ ИЗМЕЛЬЧИТЕЛЬНОГО
ОБОРУДОВАНИЯ ПРЕДПРИЯТИЙ ПИТАНИЯ…… **180**

Заплетников И.Н., Кириченко В.А., Громов С.В.
ПРИМЕНЕНИЕ МНОГООСЕВЫХ ОПОР В КОНСТРУКЦИИ КРУТОНАКЛОННОГО КОНВЕЙЕРА……. **184**

Ивченко Т.Г., Петряева И.А.
АНАЛИЗ ТЕПЛОВОГО СОСТОЯНИЯ ТВЕРДОСПЛАВНЫХ ТОРЦОВЫХ ФРЕЗ С ИЗНОСОСТОЙКИМИ ПОКРЫТИЯМИ ……... **188**

Игнаткина ЕЛ., Гутаревич В.О., Кондратенко М.П.
МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ТОРМОЖЕНИЯ ПОДВЕСНОЙ МОНОРЕЛЬСОВОЙ ДОРОГИ…….. **192**

Кардаполова М.А., Девойно О.Г., Дьяченко О.В., Николаенко В.Л.
ИССЛЕДОВАНИЕ ТРИБОТЕХНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК МОДИФИЦИРОВАННЫХ ПОКРЫТИЙ В ШИРОКОМ ДИАПАЗОНЕ ДАВЛЕНИЙ И СКОРОСТЕЙ…… **196**

Коваленко В.И., Харитонов О.М.
ИССЛЕДОВАНИЕ БИЕНИЯ ТЕЛ ВРАЩЕНИЯ ПРИ ОБРАБОТКЕ ДЕТАЛЕЙ В СЕРИЙНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ…… **199**

Козулько Н. В., Семиниченко К. В.
ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ОКОНЧАТЕЛЬНОЙ АБРАЗИВНОЙ ОБРАБОТКИ ЛЕПЕСТКОВЫМ КРУГОМ ДЕТАЛЕЙ ИЗ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ ПОД СКЛЕИВАНИЕ…… **203**

Козыряцкий Л.Н., Шевченко Ф.Л., Моргунов В.М.
ПЕРЕМЕЩЕНИЕ ВЕРТИКАЛЬНОГО ТРУБОПРОВОДА ПРИ РАЗЛИЧНЫХ РЕЖИМАХ ДВИЖЕНИЯ ПЛАВСТРЕДСТВА, ПРЕДНАЗНАЧЕННОГО ДЛЯ ДОБЫЧИ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ СО ДНА МИРОВОГО ОКЕАНА…… **211**

Koziriatsky L., Yatsenko V.
LE PRINCIPE DE LA CONSTRUCTION DE SYSTÈMES DE RÉGULATION LOCALES DES PARAMETRES LEVAGE HYDRAULIQUE……. **213**

Кононенко А.П., Божко Р.И.
ДИАПАЗОНЫ РАЦИОНАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ НАГНЕТАТЕЛЬНОЙ ЭРЛИФТНОЙ УСТАНОВКИ С ЦЕНТРОБЕЖНЫМИ НАГНЕТАТЕЛЯМИ…….. **216**

Корнаев Н.В., Савин Л.А., Корнаев А.В., Корнаева Е.П.
ВОЗМОЖНОСТИ И ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ИСКУССТВЕННЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ДИНАМИКИ РОТОРНЫХ СИСТЕМ…….. **220**

Корнаев А.В., Корнаева Е.П.
МАТЕМАТИЧЕСКАЯ ПОСТАНОВКА ТЕПЛОВЫХ ЗАДАЧ О ТЕЧЕНИИ ЖИДКОСТЕЙ В ТОНКИХ КАНАЛАХ ГИДРОМЕХАНИЧЕСКИХ СИСТЕМ….. **227**

Кравченко П.Д.

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ И ПРАКТИЧЕСКАЯ ПОЛЬЗА……. **230**

Красильникова В.А., Кугультинов С.Д.
ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОИЗВОДСТВА НА ОСНОВЕ УКРУПНЕННОГО АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ И НОРМИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ…….. **233**

Кругликов П.А., Смолкин Ю.В., Сухорукова Е.А.
ЭНЕРГОМАШИНОСТРОЕНИЕ РОССИИ В НАЧАЛЕ XXI ВЕКА: ТЕНДЕНЦИИ И ПЕРСПЕКТИВЫ…… **236**

Кужелева С.А., Соколова Ю.В., Борзов Д.Б.
ЗАДАЧИ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО УПРАВЛЕНИЯ КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТЬЮ ВУЗА…… **241**

Курбанов Х.К., Гурбанова М.Х., Керимов Б.М., Ходжаев Дж.Н.
ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ ЗМЕЕВИКОВЫХ ТРУБЧАТЫХ ВОЗДУХОПОДОГРЕВАТЕЛЕЙ…… **244**

Лапаева И.В., Горобец И.А.
КОЛЛЕКТИВНАЯ ПРОЕКТНАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ СТУДЕНТОВ, КАК ИНСТРУМЕНТ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОБУЧЕНИЯ В ТЕХНИЧЕСКОМ ВУЗЕ……. **247**

ЛихачеваТ.Е., Петрова Л. Г., Малахов А.Ю., Юрин П. А.
ИССЛЕДОВАНИЕ ПРИЧИН РАЗРУШЕНИЯ МЕЖКОЛЬЦЕВЫХ ПЕРЕГОРОДОК ПОРШНЕЙ ДВС СОВРЕМЕННЫХ АВТОМОБИЛЕЙ……. **251**

Макаров В. Ф.
ОБРАЗОВАНИЕ ЛОКАЛЬНЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ КОНЦЕНТРАТОРОВ НАПРЯЖЕНИЙ ПРИ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКЕ ПРОФИЛЬНЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ДЕТАЛЕЙ…… **256**

Макаров В.Ф., Абзаев Р.С.
ВЫБОР ЛУЧШЕЙ МАРКИ СБОРНЫХ РЕЗЦОВ НА ОСНОВЕ СРАВНИТЕЛЬНЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ДИАГНОСТИКИ ПРОЦЕССА ТОЧЕНИЯ РЕЗЦАМИ РАЗЛИЧНЫХ ФИРМ ПРОИЗВОДИТЕЛЕЙ…… **260**

Макаров В.Ф., Кожевников С.И.
ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТРАЕКТОРИИ ФРЕЗЕРОВАНИЯ НА ИЗНОС ПОВЕРХНОСТИ ПРЕСС-ФОРМ ПРИ ЛИТЬЕ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ…… **263**

Михайлов А.Н., Лукичев А.В., Матвиенко С.А., Стрельник Ю.Н.
ИССЛЕДОВАНИЕ РОЛИ ФУНКЦИОНАЛЬНО ОРИЕНТИРОВАННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ОБРАБОТКИ ШАРОВЫХ ШАРНИРОВ В ИХ НАДЕЖНОСТИ.. **268**

Михайлов А.Н.
XXV МЕЖДУНАРОДНАЯ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ «МАШИНОСТРОЕНИЕ И ТЕХНОСФЕРА XXI ВЕКА», ТРАДИЦИЯ В

ЧЕТВЕРТЬ ВЕКА…… **272**

Михайлов А.Н., Петров М.Г., Головятинская В.В, Цыркин А.Т.
ФУНЦИОНАЛЬНО-ОРИЕНТИРОВАННЫЙ ПОДХОД В ИНЖЕНЕРНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ…… **292**

Михайлов Ю.О., Князев С.Н.
МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ХОЛОДНОЙ ОБЪЕМНОЙ ШТАМПОВКИ…. **296**

Михайлов Ю.О., Князев С.Н.
СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ…… **302**

Невмержицкая Г.В.
РАСПРЕДЕЛЕНИЕ НАГРУЗОК НА РОЛИКИ ПРИ КОМБИНИРОВАННОМ СПОСОБЕ ПЕРЕДАЧИ НАГРУЗКИ НА БУКСУ НА ОБЪЕМНЫХ МОДЕЛЯХ… **307**

Ракунов Ю.П., Абрамов В.В.
КОМПЬЮТЕРНАЯ ИНТЕГРАЦИЯ ПОДСИСТЕМ СОВРЕМЕННОГО ГРУППОВОГО ПРОИЗВОДСТВА **312**

ИМЕННОЙ УКАЗАТЕЛЬ

Абзаев Р.С. 260
Абрамов В.В. 312
Аверченков В.И. 6
Акопян Н.Х. 10
Антимонов А.М. 13
Анцев А.В. 17
Архипов В.Е. 21
Афендиков А.Г. 119
Байчоров А. А. 113
Басалай А.В. 74
Басов Р.Г. 34, 37
Белашова И.С. 28
Беловодский В. Н. 48
Беляков А.М. 31
Биленко Э.Г. 74
Божко Р.И. 216
Борзов Д.Б. 34, 37, 40, 241
Бородихин С.А. 154
Бохонский А.И. 44
Бугаев Н.М. 21, 46, 77
Букин С. Л. 48
Буленков Е. А. 56
Бутенко В.И. 57
Варминская Н.И. 44
Ваулин С.Д. 62
Веремейчик А.И. 67
Войтюк К.А. 71
Волочко А.Т. 74
Волошина И.А. 62
Гелюх П.А. 77
Герасимов А. В., 81
Гиммельберг А.С. 150
Гненный А.А. 87
Головятинская В.В. 292
Голубов Н.В. 92, 99
Горленко О.А. 95
Горобец И.А. 92, 99, 247
Горшков А.А. 25, 46
Григорьева Н. С. 102, 108
Громов С.В. 184
Грубка Р. М. 113
Гурбанова М.Х. 244
Гусаров С.В. 74
Гусев В.В. 119
Гусев Е.Л. 123
Гутаревич В.О. 192
Данг Х.Ч. 17
Данияров Н.А. 127
Девойно О.Г. 131, 196
Джура С.Г. 135
Дмитриев В.Г. 21, 77
Дуйшембиев А.С. 139
Дуйшеналиев Т.Б. 139
Дьяченко О.В. 196
Егоров Н.Т. 146
Егоров П.В. 150
Еремин Е.Н. 154, 158
Ермишкин В.А. 162, 167
Ершова А.Ю. 172
Жиляев С.В. 175
Заляева Г.О. 178
Заплетников И.Н. 180, 184
Ивченко Т.Г. 188
Игнаткина ЕЛ. 192
Изобелло А.Ю. 74
Кардаполова М.А. 131, 196
Квилинский О.Д. 180
Келисбеков А.К. 127
Керимов Б.М. 244
Кириченко В.А. 184
Кирпичников А. П. 81
Князев С.Н. 296, 302
Коваленко В.И. 199
Ковеленов Н.Ю. 31
Кожевников С.И. 263
Козулько Н. В. 203
Козыряцкий Л.Н., 211
Кондратенко М.П. 192
Кононенко А.П. 216
Корнаев А.В. 220, 227
Корнаев Н.В. 220
Корнаева Е.П. 220, 227
Коровайцева Е.А. 25, 46
Костенко А.В. 71
Кравченко П.Д. 230
Красильникова В.А. 233
Кругликов П.А. 236
Кугультинов С.Д. 175, 233
Кужелева С.А. 241
Кузьмин С.Д. 28
Кулагин С.П. 167
Кулинский А.Д. 57
Курбанов Х.К. 244
Лапаева И.В. 247
Лапковский А.С. 131
Лебедь Я. А. 56
ЛепскаяЮ.П. 178
ЛихачеваТ.Е. 251
Ломовская Н.Ю. 25, 46
Ломовской В.А. 25, 46
Лондарский А.Ф. 21
Лосев А.С. 154
Лукичев А.В. 268
Луцко Н.И. 131
Макаров В. Ф. 256, 260, 263
Малахов А.Ю. 251
Мартиросов М.И. 172
Маталасова А.Е. 154
Матвиенко С.А. 268
Минина Н.А. 167
Миннеханов Г.Н. 158
Миннеханов Р.Г. 158
Михайлов А. Н. 113, 268, 272, 292
Михайлов С.В. 31
Михайлов Ю.О. 302
Мишенин А.И. 99
Моргунов В.М. 211
Москвитин Г.В. 21
Мугандин В.К. 92
Надуваев В.В. 6
Невмержицкая Г.В. 307
Недашковский А. П. 113
Николаенко В.Л. 196
Петров М.Г. 292
Петрова Л. Г. 251
Петряева И. А. 113, 188
Пильненко А.К. 180
Писарева А.Г. 119
Пономарев И.А. 154
Попов И.В. 175
Пугачев М.С. 21
Пушкарева Н.Б. 13
Ракунов Ю.П. 312
Сабирова Ф. Р. 81
Савин Л.А. 220
Савченко С.М. 180
Семиниченко К. В. 203
Сизов А.С. 40
Симкин А.З. 95

Сможевский И.И. 74
Смолкин Ю.В. 236
Соколова Ю.В. 241
Соловьева Ю.Б. 162, 167
Стрельник Ю.Н. 268
Сухорукова Е.А. 236
Томенко А.К. 167
Фазилова З.Т. 77
Фролов Е.Н. 6
Харитонов О.М. 199
Хвисевич В.М. 67
Ходжаев Дж.Н. 244
Хроматов В.Е. 139
Цыркин А.Т. 292
Чмеренко А.Н. 74
Чупраков М.В. 150
Чурсинов В.И. 135
Шабайкович В. А. 102, 108
Шаповалов Р.Г. 57
Шарапова Н.Е. 150
Шевченко Ф.Л. 211
Шукюров Д.Р. 77
Щенятский А.В. 175
Щугорев В.Н. 139
Эрнандес А.Д. 150
Юрин П. А. 251
Якимишина В.В. 135
Янов Е.С. 17
Koziriatsky L. 213
Yatsenko V. 213

XXV международная
научно-техническая конференция

«МАШИНОСТРОЕНИЕ И ТЕХНОСФЕРА XXI ВЕКА»

Сборник трудов

Том 1

ISSN 2079-2670

Компьютерная верстка сборника – Петряева И.А.

Пописано к печати 01.09.2018.	Формат 60x84 $^{1}/_{16}$	Бумага XEROX
Ризографическая печать	Усл. печ. л. 14,26	
Уч.-из. л. 14,98	Тираж 100 экз.	Заказ № 1

Издательство ЧП “Технополис”
Свидетельство о внесении в государственный реестр субъекта
издательского дела ДК № 1221 от 05.02.2003.
283001, г. Донецк, пр. Дзержинского 1
Тел. +38 062 305-01-04
E-mail: *mntk21@mail.ru*