



XXX МНТК МАШИНОСТРОЕНИЕ И ТЕХНОСФЕРА XXI ВЕКА

МАШИНОСТРОЕНИЕ И ТЕХНОСФЕРА XXI ВЕКА

Сборник трудов XXX международной
научно-технической конференции



2023

2023 ДОНЕЦК

Министерство образования и науки ДНР
Министерство промышленности и торговли ДНР
Донецкое региональное отделение «Союз машиностроителей России»
Ассоциация технологов-машиностроителей России
Абхазский государственный университет
Брянский государственный технический университет
Воронежский государственный технический университет
Донецкий национальный технический университет
Донской государственный технический университет
Казахский национальный университет имени Аль-Фараби
Камчатский государственный технический университет
Луганский государственный университет им. В. Даля
Московский государственный технический университет им. Н.Э Баумана
Национальный политехнический университет Армении
Рыбинский государственный авиационный технический университет им. П.А. Соловьева
Санкт-Петербургский горный университет
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого
Севастопольский государственный университет
Усинский и Воркутинский филиалы 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, АО «Феодосийский оптический завод»
ОАО НИИ «Изотерм», ООО ДФ «Авиатех»
НПО «Ясиноватский машиностроительный завод»

МАШИНОСТРОЕНИЕ И ТЕХНОСФЕРА XXI ВЕКА

Сборник трудов

XXX
МЕЖДУНАРОДНОЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ

11 - 17 сентября 2023 г. в городе Севастополе



Донецк-2023

ББК К5я54
УДК 621.01(06)

Машиностроение и техносфера XXI века // Сборник трудов XXX международной научно-технической конференции в г. Севастополе 11-17 сентября 2023 г. – Донецк: ДонНТУ, 2023. – 366 с.

ISSN 2079-2670

В сборник включены материалы XXX 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 Донецкого регионального отделения «Союз машиностроителей России».

Конференция проводится в рамках Международного форума «ТЕХНОСФЕРА - 2023»

Рекомендован к изданию Ученым Советом Донецкого национального технического университета (протокол № 5 от 23 июня 2023 г.)

Адрес международного организационного комитета:

ДНР, 283001, г. Донецк, ул. Артема 58, ДонНТУ

Тел.: +7 (856) 301-08-40, +7 (856) 301-08-05

Моб. тел. +7 (949) 3060879

E-mail: mntk21@mail.ru

<http://konf-sev.donntu.ru>

ISSN 2079-2670

© Авторы статей, 2023 г.

© ДонНТУ, 2023 г.

МЕЖДУНАРОДНЫЙ ПРОГРАММНЫЙ КОМИТЕТ КОНФЕРЕНЦИИ

Сопредседатели: Ректор ДонНТУ, к.т.н., профессор **Аноприенко А.Я.** (ДНР); ректор КамчатГТУ, д.соц.н., проф. **Левков С.А.** (Россия); ректор ЛНУ им. В. Даля, д.т.н., профессор **Рябичев В.Д.** (ЛНР); ректор БГТУ, д.т.н., проф. **Федонин О.Н.** (Россия).

Члены: 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.**; проректор ДонНТУ, д.т.н., проф. **Бирюков А.Б.**; директор ММИ УрФУ, д.т.н., проф. **Блинков О.Г.**; проректор по научной работе ДонНТУ, д.т.н., проф. **Борщевский С.В.**; профессор СевГУ, д.т.н. **Бохонский А.И.**; зав. кафедрой СевГУ, д.т.н., проф. **Братан С.М.**; профессор ЛГУ им. В. Даля, д.т.н. **Брешев В.Е.**; ген. директор АО «ФОЗ» **Буряк В.Ю.**; профессор ИТА ЮФУ, д.т.н. **Бутенко В.И.**; зав. кафедрой, д.т.н., проф. **Буялич Г.Д.**; профессор ТГУ, д.т.н. **Вайнер Л.Г.**; зав. кафедрой МГТУ им. Н.Э. Баумана, д.т.н., проф. **Васильев А.С.**; д.ф.-м.н., проф. **Варюхин В.Н.**; проректор ЛНУ им. В. Даля, д.т.н., проф. **Витренко В.А.**; зав. кафедрой МГТУ им. Н.Э. Баумана, д.т.н., проф. **Галиновский А.Л.**; зав. кафедрой ДонНТУ, д.т.н., профессор **Гусев В.В.**; профессор ОИФТПС ЯНЦ СО РАН, д.т.н. **Гусев Е.Л.**; зав. кафедрой ДонНТУ, д.т.н., проф. **Гутаревич В.О.**; 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 ДонНУЭТ, д.т.н., проф. **Заплетников И.Н.**; зав. кафедрой ДонГТУ, к.э.н., доц. **Зинченко А.М.**; вед. научн. сотр. ИМЕТ РАН, д.ф.-м.н. **Ермишкин В.А.**; проректор ДонНТУ, к.т.н., проф. **Каракозов А.А.**; профессор БВТА, д.т.н. **Керекеш Т.**; профессор ЛГУ им. В. Даля, д.т.н. **Киреев А.Н.**; 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.**; директор ВШМ СПбПУ, д.т.н., проф. **Гасюк Д.П.**; зав. кафедрой УГГУ, д.т.н., проф. **Лагунова Ю.А.**; профессор ДГТУ, д.т.н. **Лебедев В.А.**; зав. кафедрой ТУМ, д.т.н. **Мазуру С.**; ОАО НПО "Искра", профессор, д.т.н. **Макаров В.Ф.**; профессор ТГУ, д.т.н. **Макаров П.В.**; декан СПГУ, д.т.н., профессор **Максаров В.В.**; профессор ДонНТУ, д.т.н. **Малеев В.Б.**; профессор МГТУ им. Н.Э. Баумана, д.т.н. **Малышева Г.В.**; ректор ДГТУ, д.т.н., проф. **Месхи Б.Ч.**; зав. кафедрой ДонНТУ, д.т.н., проф. **Михайлов А.Н.**; директор НПО ЯМЗ **Мурай В.Ю.**; к.т.н., профессор **Навка И.П.**; инженер **Недашковский А.П.**; 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.**; зав. кафедрой СНИУ им. Академика С.П. Королева, д.т.н., проф. **Павлов В.Ф.**; зав. кафедрой БГТУ, д.т.н., проф. **Петрешин Д.И.**; директор УФ УГТУ, д.ф.н., проф. **Пичко Н.С.**; профессор ППИ, д.т.н. **Плохов И.В.**; профессор КазНУ им. Аль-Фараби, д.т.н. **Поветкин В.В.**; профессор СевГУ, д.т.н., проф. **Покинтелица Н.И.**; директор ВФ УГТУ, д.э.н., профессор **Полякова Л.П.**; 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.**; зав. кафедрой СПбПУ, д.т.н., профессор **Радкевич М.М.**; проректор ДонНТУ, к.т.н. **Рязанов А.Н.**; профессор ОГУ им. И.И. Тургенева, д.т.н. **Савин Л.А.**; первый проректор ВГТУ, д.т.н., проф. **Сафонов С.В.**; декан ДонНТУ, к.т.н., доц. **Селивра С.А.**; декан РГАТУ им. П.А. Соловьева, д.т.н., проф. **Семенов А.Н.**; профессор КубГАУ им. И.Т. Трубилина, д.т.н. **Серга Г.В.**; профессор ВГУ, д.т.н. **Скворцов А.И.**; лауреат премии Правительства РФ, профессор ВГТУ, д.т.н.

Смоленцев В.П.; почетный работник ВО РФ, зав. кафедрой ВГТУ, д.т.н., проф. **Смоленцев Е.В.**; профессор БелГТУ, д.т.н. **Стрельников В.Н.**; засл. деятель науки и техники, почетный предс. Президиума Ассоциации технологов-машиностроителей России, д.т.н., проф. **Суслов А.Г.**; зав. кафедрой ДГТУ д.т.н., проф. **Тамаркин М.А.**; декан ТУМ, д.т.н., проф. **Тока А.**; председатель ДРО «Союз машиностроителей России», д.э.н., проф. **Трубчанин В.В.**; профессор ГТУ, д.т.н. **Турманидзе Р.С.**; профессор ИТМ УлГТУ, д.т.н. **Унянин А.Н.**; профессор Сызранского филиала СГТУ, д.т.н. **Усов В.П.**; профессор БГТУ, д.т.н. **Хандожко А.В.**; директор ИПФ НАН Беларуси, профессор, д.т.н. **Хейфец М.Л.**; профессор НИУ «МЭИ», д.т.н. **Хроматов В.Е.**; доцент КамчатГТУ, д.ф.-м.н., доц. **Царенко С.Н.**; зав. кафедрой ДонНТУ, д.т.н., проф. **Шабаев О.Е.**; НПО «Искра», д.т.н., проф. **Шайдурова Г.И.**; профессор Азербайджанского ТУ **Шарифов З.З.**; профессор ТГУ, д.т.н. **Ямников А.С.**

МЕЖДУНАРОДНЫЙ ОРГАНИЗАЦИОННЫЙ КОМИТЕТ КОНФЕРЕНЦИИ (редакционная коллегия)

Председатель – Заведующий кафедры ТМ ДонНТУ, д.т.н., проф. **Михайлов А.Н.**

Заместитель председателя: доцент кафедры ТМ ДонНТУ, к.т.н. **Горобец И.А.**

Ученый секретарь – аспирант кафедры ТМ ДонНТУ **Огренич Д.В.**

Члены: доктор Багдадского ТУ, к.т.н., доцент **Аль-Судани Т.Т.**; аспирант каф. ТМ ДонНТУ **Анастасьев А.В.**; директор СПТК **Баранов Н.В.**; доцент кафедры ДонНТУ, к.т.н. **Борисенко В.Ф.**; докторант кафедры ТМ ДонНТУ, к.т.н., доц. **Буленков Е.А.**; доктор Тунисского ТУ, к.т.н., доцент **Гитуни А.**; ст. препод. кафедры ТМ ДонНТУ **Голубов Н.В.**; профессор кафедры ТМ ДонНТУ **Грубка Р.М.**; зам. директора ОАО НИИ «Изотерм», к.т.н. **Добровольский Г.И.**; инженер кафедры ТМ ДонНТУ **Жарких Д.С.**; доцент КамчатГТУ, к.т.н. **Игнаткина Е.Л.**; инженер кафедры ТМ ДонНТУ **Киселица Д.О.**; доцент кафедры ТМ ДонНТУ, к.т.н. **Коваленко В.И.**; к.т.н. **Котляров Б.С.**; аспирант кафедры ТМ ДонНТУ **Котляров В.Б.**; аспирант кафедры ТМ ДонНТУ **Котляров С.Б.**; 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.**; доцент кафедры ГЗТиЛ ДонНТУ, к.т.н. **Матвиенко С.А.**; ст. преп. ВФ УГТУ, к.т.н. **Михайлов В.А.**; доцент кафедры МД АГЗ МЧС ДНР, к.т.н. **Михайлов Д.А.**; доцент кафедры ДонНТУ, к.т.н. **Мороз О.К.**; соискатель каф. ТМ ДонНТУ **Овчарук Б.В.**; аспирант каф. ТМ ДонНТУ **Огренич Д.В.**; доцент кафедры ТМ ДонНТУ **Петряева И.А.**; доцент кафедры ТУМ **Рушика И.Д.**; соискатель каф. ТМ ДонНТУ **Стрельник Ю.Н.**; доцент кафедры ТМ, к.т.н. ДонНТУ **Чернышев Е.А.**; зав. кафедры ВОП Академии МВД ДНР, к.т.н. **Хавлин Т.В.**; доцент АГЗ МЧС ДНР, к.т.н. **Шейко Е.А.**; доцент кафедры ДонНТУ, к.т.н. **Цокур В.П.**

Уважаемые дамы и господа, дорогие друзья и коллеги!

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

В связи с этим, на этой встрече предусматривается особое внимание уделить вопросам создания и применения прогрессивных, специальных и нетрадиционных технологий. Нам необходимо рассмотреть насущные проблемы техники, связанные с механизацией и автоматизацией производственных процессов, а также с созданием прогрессивного оборудования. Здесь будут затронуты вопросы проектирования и применения прогрессивных инструментов, управления качеством промышленной продукцией, сертификации, метрологии, диагностики и эксплуатации технологических систем, создания информационных и наукоемких технологий. Приоритетными направлениями на нашей конференции будут также вопросы, нацеленные на развитие процесса профессионального образования в системе Евразийского образовательного пространства. 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, горного и нефтегазового дела, экологии и экономики. Этих основных и других вопросов техносферы планируется коснуться участниками конференции здесь на нашей встрече.

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

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

Особенно необходимо подчеркнуть то, что данная конференция проводится при содействии Донецкого регионального отделения «Союз машиностроителей России». Основной и важнейшей задачей работы этой Общероссийской общественной организации «Союз машиностроителей России» является объединение усилий российских машиностроителей в отстаивании интересов отечественного машиностроительного комплекса, содействие выработке и утверждению органами государственной власти общероссийских стратегий и программ развития машиностроительной отрасли России, с учетом стратегических интересов национальной экономики, а также представительство законных интересов и защита прав своих членов во взаимоотношениях с органами государственной власти, местного самоуправления, предприятиями и организациями всех форм собственности и общественными объединениями.

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

С наилучшими пожеланиями

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

UTILIZATION OF VIBRATION INDICATOR FOR ESTIMATION NON-UNIFORMITY OF AIR GAP IN THE ELECTROMECHANICAL ENERGY CONVERTER

Borisenko V. F., Sidorov V. A. (State Educational Institution of Higher Professional Education "Donetsk National Technical University" Russia, Donetsk)
Тел./Факс: +7 949 312 79 13; E-mail: sidorov_va58@mail.ru

Abstract: Electric traction drive operates in severe conditions with frequent starts and breakdowns practically without reversing motion. At this time driving motor and transmitting mechanical elements go through dynamic loads that leads to increased oscillations of motor casing and therefore to rotor non alignment. The non alignment is the reason of air gap changing between rotor and stator. Air gap changing leads to malfunction in steady operation of magnetizing loop and to appearing of periodic components having impact on stability of magnetic flow and electromagnetic torque of the motor. Additional harmonic oscillations appear and they cause increased oscillation of casing and parts connected with it. Direct diagnostic measurements of air gap and electromagnetic fields uniformity are nearly impossible in operation conditions. This article includes information concerning the variant of the problem solving when using indirect measurements and thermal fields.

Keywords: Tractive Motor, Vibration Parameters, Frequency Characteristics, Temperature Analysis.

1. Introduction

The problem. High reliability of tractive motor is the main condition to provide technogenic safety of urban and railway electric transport. Coaxial alignment of rotor and stator axes determines the uniformity and intensity of electromagnetic field power load. This provides complex estimation of a current state and engine durability in general. Recording of stator actual electromagnetic field in operating conditions is difficult. At the same time an indirect estimation according to diagnostic indicators of vibrational and thermal fields is possible. Identification of these dependences was performed within theoretical and experimental researches.

Researches of tractive motor along with classic approaches [1, 2, 3] are continued in thesis papers [4, 5, 6] where aspects of energy efficiency increasing, improving of control system for electric locomotive tractive motor and for other transport are researched. It is known that [7...10] modern electric motor of rolling stock is equipped with alternative current tractive motors. The structure of electrical energy converter includes the input semiconductor converter, autonomous voltage inverter the output terminals of which are connected with asynchronous tractive motors.

It is necessary to mark the works on this theme concerning research of electromagnetic processes in power circuit of AC electric stock equipped with asynchronous tractive motors [11], as well as math modeling of electric devices [12, 13]. During these researches analytical methods of differential equation solution, theory of linear and nonlinear electric circuits, methods of analysis and calculation for electric energy converter are used. The subject of research in stated works is commonly the electric drive of electric locomotive. For motor of medium power range and high frequency of rotation an insufficient quantity of experimental researches concerning rotor non-axiality providing early diagnostics of failure development is noted. This is the theme of this article.

Results and Discussion

Modern electric traction drive of transport facilities is associated with the use of special asynchronous electric motors. Such electric motors are intended for drives of cargo lifting mechanism used on electric lift trucks, as well as for running of underground railway carriages, trams, trolleybuses [14...20]. Asynchronous electrical motors of DAT (DAO) series are used for industrial drives as a part of wheel drives for electrical Commuter Rail locomotives, drives for agricultural and household appliances as well as for labour saving tools. Electrical drives of these types are equipped with air cooling system. The power supply of electric drives is performed with the help of frequency converter, i.e. voltage inverter.

Layout diagram of such electrical drive is provided in figure 1. The source of direct current is trolley which is powered from traction substations. Traction asynchronous motors are used as driving motors. The range of rated power of these motors as a rule is within the limits from 50 to 100 kW and the rated power frequency is chosen at the level of $f_{rated} = 80$ Hz (power frequency is $f_{power} = 50$ Hz). This is explained by the tendency to decrease weight and dimensional parameters of the drive. It is supposed that operating frequency of motor power is within the range from 40 to 120 Hz. Controlling of the velocity down from the main frequency $f_{rated} = 80$ Hz to $f_{min} = 40$ Hz is performed according to the law of moment constancy. As well the rate is changed up from the main $f_{rated} = 80$ Hz to the rate $f_{max} = 120$ Hz according to the law of power constancy. Approximate mechanical characteristics in this case have the form presented in figure 2.

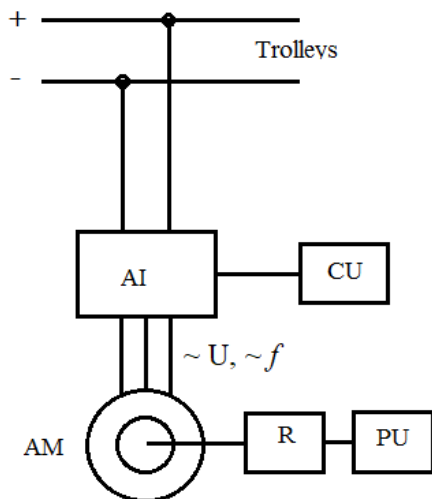


Figure 1.Diagram of electric traction drive:

AI - autonomous inverter, CU – control unit, AM – asynchronous motor, R –gear box, PU – performing unit.

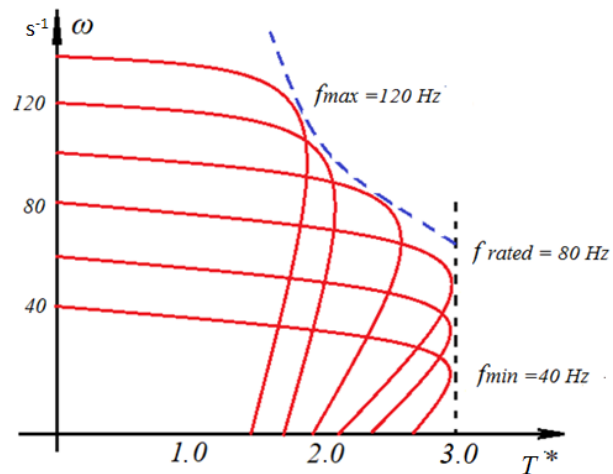


Figure 2.Mechanical characteristics of electric motor drive within the limits from 40 to 120 Hz.

Equivalent circuit of asynchronous motor is associated with rated frequency of power network. In case of supply frequency changing the following adjustment factors should be included to the equivalent circuit: $\varphi_i = f_i/f_{rated}$ (for case under discussion $\varphi_{40} = 40/80 = 0.5$; $\varphi_{60} = 60/80 = 0.75$; $\varphi_{80} = 80/80 = 1.0$; $\varphi_{120} = 120/80 = 1.5$).

The equivalent T-circuit of asynchronous motor is described in figure 3.

$$x_1 = \omega L_1 = 2\pi f L_1; \quad x_{1f_i} = x_1 f_{instant}/f_{rated \text{ of supply voltage}} = x_1 \varphi_i;$$

$$x_2' = 2\pi f L_2'; \quad x_{2'f_i} = x_2' f_{instant}/f_{rated \text{ of supply voltage}} = x_2' \varphi_i;$$

$$x_m = 2\pi f L_m; \quad x_{mf_i} = x_{mf_{instant}} / f_{rated \text{ of supply voltage}} = x_m \phi_i;$$

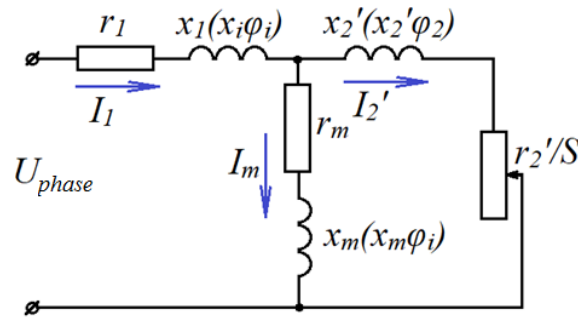


Figure 3.Equivalent T-circuit of asynchronous motor: $r_1, r_2'/S$ - active resistance of stator, S - slip - $(\omega_0 - \omega)/\omega_0$; x_1, x_2' - inductive induction resistances of stator and rotor.

In case of electric traction drive an adjustment factor ϕ_i is included to asynchronous motor equivalent circuit for inductivity.

The most frequent cases of electric traction motors failures concern breakdowns and low machine winding insulation as well as defects of line-to-line winding connection. This situation shows that there are factors that affect adversely the electric strength of winding insulation. One of the main factors determining the service life of electrical machines insulation is the heat ageing as a result of cycling electromagnetic field because of the failure in alignment of rotor and stator.

Experimental researches conducted for one of typical traction motors demonstrate an increased flexibility of stator casing at frequency supply $f_1 = 60$ Hz, $f_2 = 80$ Hz, $f_3 = 120$ Hz. The control points of vibration measurement are shown in figure 4. At deflection of rotor axis of stator axis these axes can be parallel, intersecting or crossing that is resulted in corresponding air gap δ .

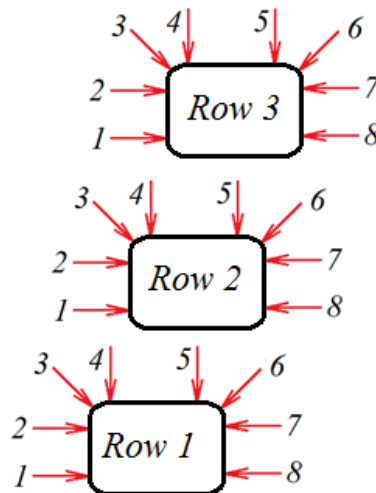


Figure 4.Points of vibration variation measurement on the surface of the engine

First frequency control laws were formulated by academician M.P. Kostenko in 1925. Main correspondences for different laws of resistance moments variation are given in table 1 [21].

Table 1. Main correspondences for different laws of resistance moments variation

Principle of resistance moments variation, M_C	M_2/M_1	P_2/P_1	U_2/U_1
$M_C = k/\omega$	f_1/f_2	$const$	$(f_2/f_1)^{1/2}$
$M_C = const$	1	f_2/f_1	f_2/f_1
$M_C = k \times \omega$	f_2/f_1	$(f_2/f_1)^2$	$(f_2/f_1)^{3/2}$
$M_C = k \times \omega^2$	$(f_2/f_1)^2$	$(f_2/f_1)^3$	$(f_2/f_1)^2$

In modern practice of frequency control the law $U/f = const$ is used frequently when the constancy of motor electromagnetic flow (figure 5) [22] is maintained in the range of supply voltage frequency variation.

Artificial maintaining of rated voltage for magnetizing I_m rated of magnetizing circuit = $const$; $f_{rated} = 50$ Hz; $M_{rated} = const$ at $f = var$ possible and in this case mechanical characteristics of the motor will be close to linear at wide range of load variation (up to $3.5M_{rated}$). The example of possible voltage variation in frequency function is shown in figure 6 [23]. There are cases at $U_1/f = U_{1rated}/f_{rated} = const$ at all f and M_{and} at constant parameter for each f_1 , when we have I_m rated of magnetizing circuit at rating torque of the motor.

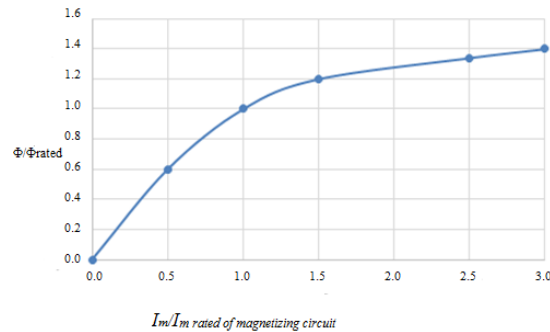


Figure 5. Characteristics of asynchronous motor free run,

I_m rated of magnetizing circuit— magnetizing current at rated voltage and frequency.

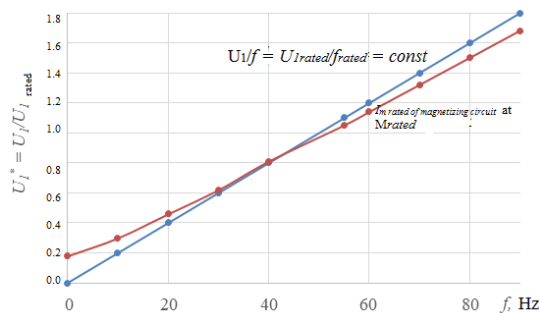


Figure 6. Change in the voltage supplied to the stator of the electric motor at different frequencies (squirrel cage motor $P = 22$ kW, 380 V, $n_{rated} = 727$ min⁻¹)

Dependences of stator current I_1^* on relative load M_C^* at different parameters of magnetizing current for motor $P = 265$ kW; 3.0 kV; I_{rated} of magnetizing voltage = $0.32I_{rated}$ at U_{rated}/f_{rated} according to data given in work[22] are shown in figure 7.

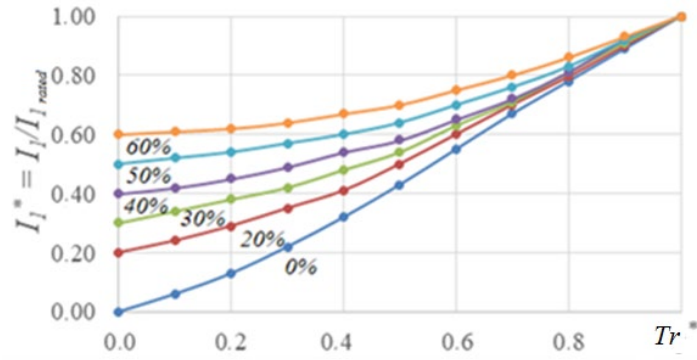


Figure 7. Dependencies of stator current I_1^* on load at different parameters of magnetizing current

Electromotive force and magnetic field at $S < S_k$, regardless of voltage loss at active and reactive resistances of the stator are determined by the following:

$$U_1 \approx E_1 = 4.44 \times k_{winding1} \times f_{1rated} \times \omega_1 \times \Phi_{rated} \times k_f \times \Phi / \Phi_{rated} = E_{1rated} \times k_f \times \Phi / \Phi_{rated};$$

therefore

$$\Phi / \Phi_{rated} = k_U / k_f, \text{ because } U_1 = k_U \times U_{1rated} \approx k_U \times E_{1rated}.$$

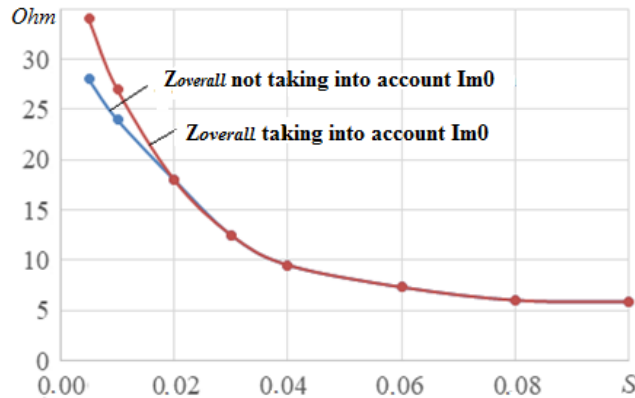


Figure 8. Dependencies of $Z_{overall}$ considering I_{m0} and not taking it to account for the motor of 180 kW.

Nowadays special electric drives are equipped with Hall electromotive force sensors for electromagnetic field measuring and determining the type of magnetizing current variation. At the same time it is possible to make the solution of differential equation system and to determine magnetic flow of the motor with the help of computer engineering means. It is necessary to notice that equations are compounded at certain ideal working conditions, flow uniformity, motor parameters, air gaps and others. For simplification of system solution the real three-phase motor is substituted with two-phase motor and coordinate transformation system is used for it [24].

However in actual practice at bearing joints or geometry malfunctions there is changing of rotor position relatively to stator winding, i.e. axial displacements are possible as well as horizontal and vertical ones. These dysfunctions lead to non uniform flow distribution in the gap and this will cause formation of additional pulsations oscillation of the motor in motor torque components. These pulsations lead to oscillations of elements that are mechanically connected with the rotor, as well as of motor casing.

As it was noticed earlier the flow fixation in motor gap is troubled and actual air gap measurement is not always allowed by the structure of the motor. Hall sensors installation in stator bore can be performed for research purposes rather than for practical control purposes. Sensors installation in different points leads to averaging of sensors parameters. Or parameters of one sensor are used as the basis and others act as reserve.

Proxy indicator of stability for air gap and electromagnetic flow (magnetizing current) is the value of vibration variables (vibration velocity, vibration displacement) and temperature parameters. These indicators are quite enough for estimation of the state in production conditions. Results of conducted measurements are shown in figures 9, 10, 11.

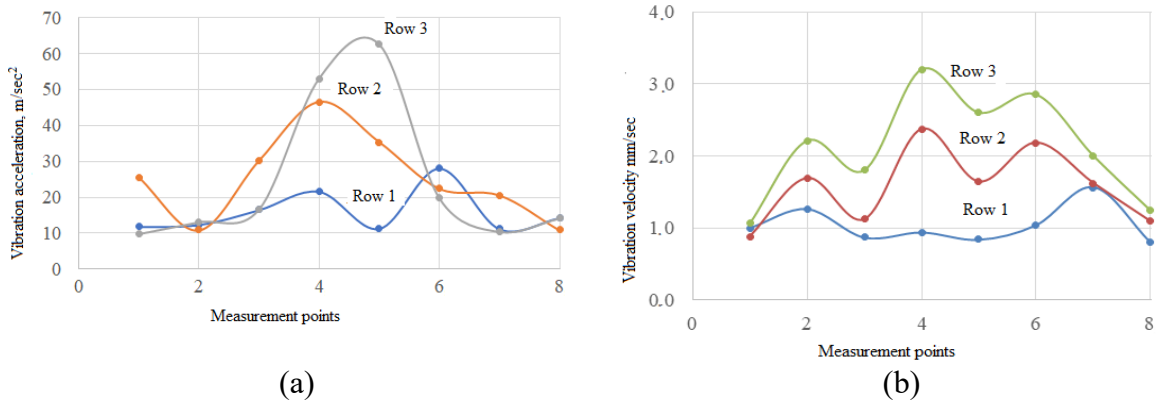


Figure 9. Changing of parameters for vibration acceleration (a) and vibration velocity (b) on points of motor No.1 control

As it was pointed out above vibration tests were performed for three motors. Measurements were performed in uniformly spaced points according to rows: row 1 is conventional left side of the motor, row 2 is the center and row 3 is conventional right side.

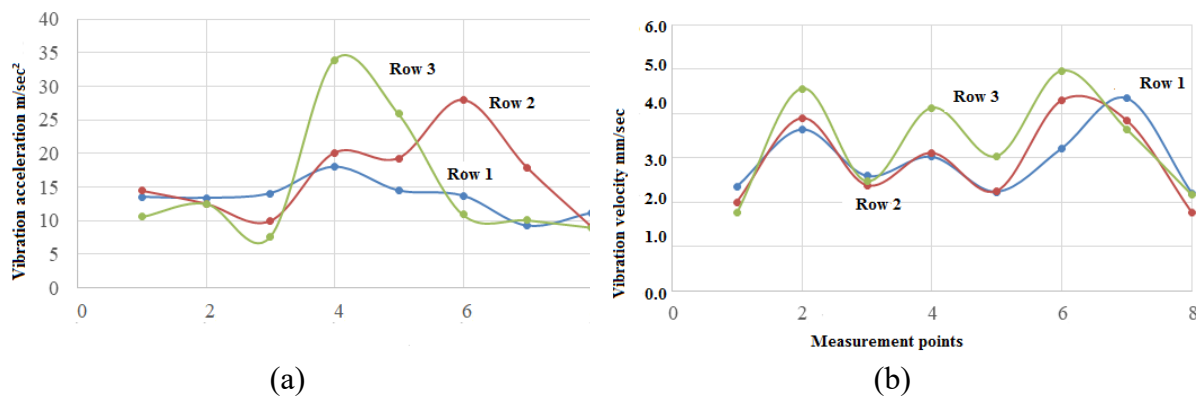


Figure 10. Changing of parameters for vibratory acceleration (a) and vibration velocity (b) on points of motor No.2 control

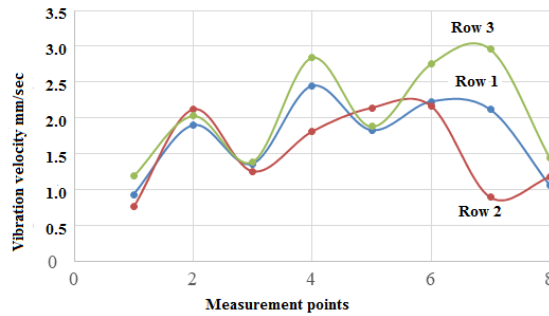


Figure 11. Changing of vibration velocity parameters on points of motor No.3 control

For the first motor parameters of vibration velocity and vibratory acceleration are increasing when they pass from the left side to the center and further to the right side (figure 9). Vibration velocity parameters are a bit above the accepted values, i.e. 2.8 mm/sec. Maximum parameters of vibration velocity are shifted comparatively to peak values of vibratory acceleration. Values of vibration acceleration are not regulated by the standards, but exceedance of acceleration of gravity at 7 times causes concern when evaluating the condition of the engine

Oscillatory pattern of vibration parameters values distribution is observed in all motors. Possibly this means that there is harmonic oscillations overlapping with standing waves formation. This claim is confirmed after measurement performing with more closely placed control points.

The situation of vibration parameters distribution in the second motor is another one (figure 10). Parameters of vibration acceleration at casing are lower with maximum parameter of 34.8 m/sec². Vibration velocity parameters are also increased at “right” side, exceedance of accepted values at 1.8 times points at serious deviations. The most stable distribution of vibration velocity is obtained on the third motor (figure 11). Operation at accepted values zone, small relative deviations of values can be regarded for getting “sample” situation for a normally functioning engine.

In the second motor temperature measuring was held for bearing shields (57°C and 48°C – figure 12a), right (77°C) and left (85°C) sides of engine. Fixed high value of temperature became the reason for stator winding inspection. And this inspection showed that the color of insulating layer of windings became darker (figure 12b) that can be the first feature of malfunction of stator winding because of non-uniformity of air gap or insufficiently tight fit in stator slots.

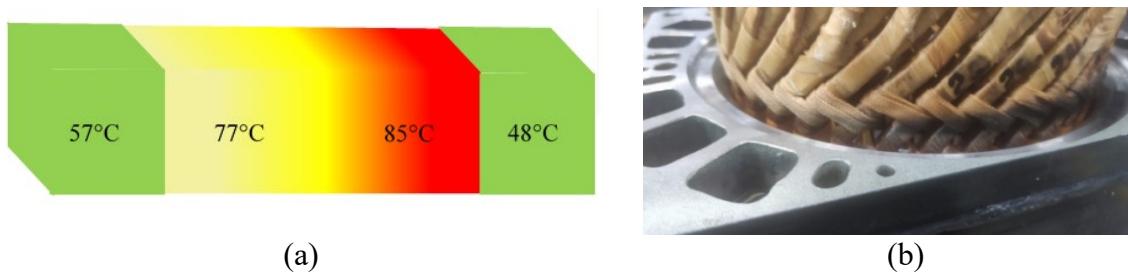


Figure 12. Distribution of temperature in zones of the second motor (a) and darkening of the color of winding insulating layer (b)

On the surface of the second motor several types of spectrum constituting vibration velocity (figure 13) were noted with almost identical value of the first harmonics of 40 Hz and with obligatory presence if the second, third, fourth and fifth attenuating harmonics of rotational

frequency. The reason of harmonics formation are gaps between the stator and the casing, unfit packing to stator slots and non-uniform air gap between the stator and rotor.

The following characteristics are fixed in vibration acceleration spectra of stator electric motors at specific points 4 of the row 1 and 5 of the row 5: the frequency of 3000 Hz, the second harmonic of 6100 Hz with side harmonics of 160 Hz, i.e. doubled frequency of the power network that in its turn generates harmonic sequence consisting 30...40 harmonics. There noted some constituents at frequency of 1400 Hz, i.e. $36 \times 40 = 1440$ Hz. This frequency has side harmonics with frequency of 40 Hz (figure 14). According to the rules of spectral component analysis these characteristics are classified as dissymmetry of magnetic fields of the stator and as the slant of rotor position against to stator.

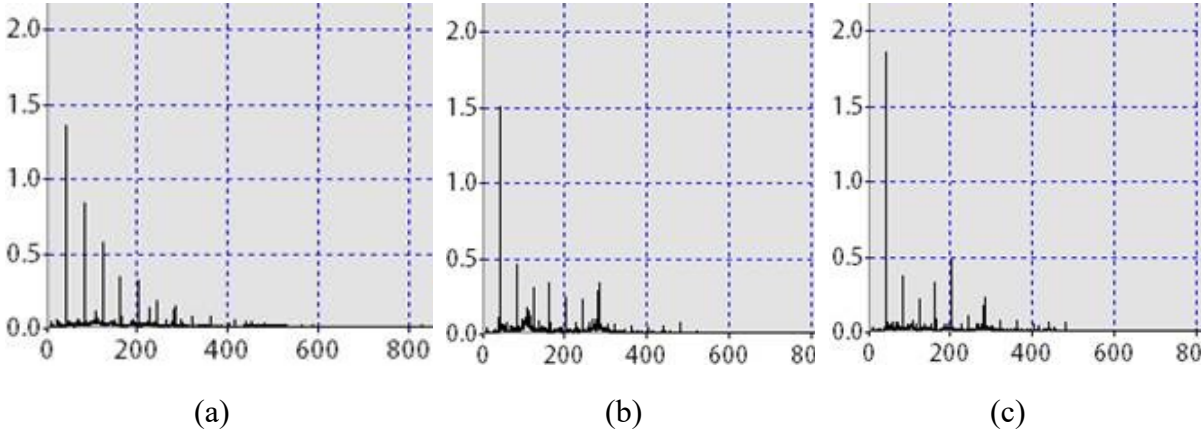


Figure 13. Different types of vibration velocity spectra (mm/sec) fixed on the surface of casing

Increasing of vibration acceleration values and relatively short rundown associated with connected load are fixed in motor No.2 after its rundown (figure 15). This can be associated with malfunction of electrical system as well as of mechanical system.

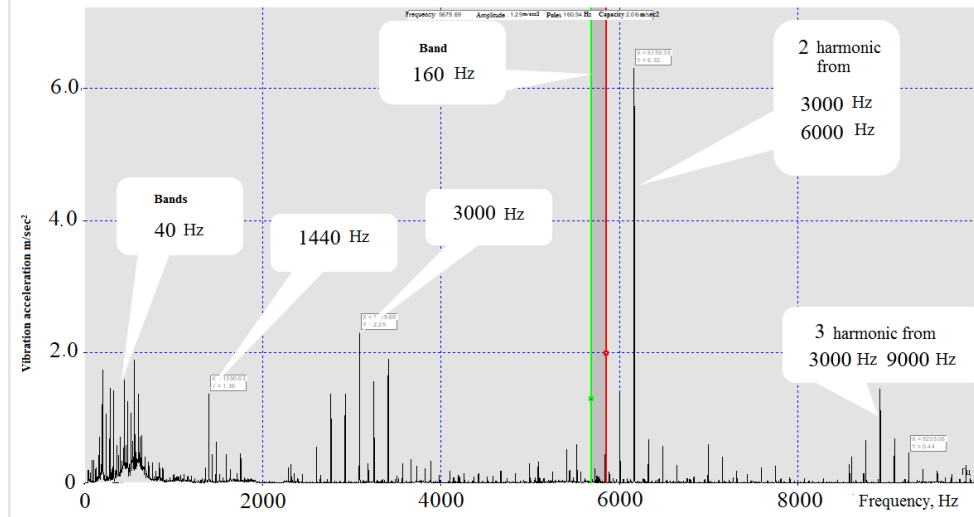


Figure 14. Spectrum of vibration acceleration fixed on the surface of casing.

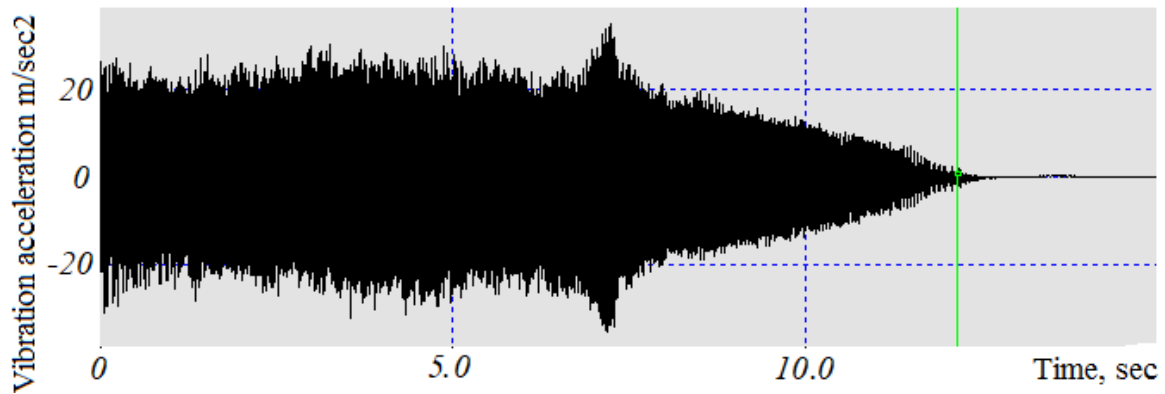


Figure 15. Variation of vibration acceleration values at motor rundown

3. Conclusion

1. Using of traction electrical drive with the frequency control raises requirements for uniformity of air gap distribution between the stator and the rotor.
2. Direct estimation of air gap and magnetic field values is almost impossible in production conditions.
3. The conducted studies of the distribution of the values of vibration parameters of the motor housing, the spectral composition of the vibration signal and the measurement of the temperature of the motor elements showed the possibility of indirectly assessing the distribution of the magnetic field, the air gap, the position of the motor shaft bearings.
4. Received diagnostic features can be the reason for checking the electrical part of the motor, i.e. checking of the current load, ohm resistance and spectral analysis of current characteristics.
5. Received diagnostic features can be the reason for determining air gap value and uniformity of distribution traction electrical motor operation without dismantling the mechanism.

References: 1. Kostenko M P, Piotrovskij L M 1964 Elektricheskie mashiny. Mashiny postoyannogo toka, transformatory. Part 1 Energiya 548. 2. Tihmenev B N, Kuchumov V A 1988 Elektrovozy peremennogo toka s tiristornymi preobrazovatelyami Moskow. Transport 311 3. Rotanov N A, Kurbasov, A S, Bykov, Yu G, Litovchenko V V 1991 Elektropodvizhnoj sostav s asinhronnymi tyagovymi dvigatelyami Moscow Transport 336 4. Glyzin I I 2020 Povyshenie energoeffektivnosti tyagovyh elektroprivodov so staticheskimi preobrazovatelyami elektroenergii i asinhronnymi tyagovymi dvigatelyami. Tema kandidatskoj dissertacii i avtoreferata po VAK RF 05.09.03. 5. Bunyaeva E V 2013 Povyshenie energeticheskoy effektivnosti rekuperativnogo tormozheniya elektrovozov peremennogo toka. Tema kandidatskoj dissertacii i avtoreferata po VAK RF 05.09.03 Habarovsk. 6. Radionov IA 2012 Sinergeticheskoe upravlenie asinhronnym tyagovym elektroprivodom transportnyh sistem. Tema kandidatskoj dissertacii i avtoreferata po VAK RF 05.13.01 Taganrog. 7. Anreas J 2003 Getriebe lose Drehstromantriebe fur Schienenfahrzeuge Elektrische Bahnen 3 pp 113-119. 8. Bernhard K, Wach J 1996 Guterzuglokomotive Baureihe 152 der Deutschen Bahn Elektrische Bahnen. 8 pp 248-260. 9. Büchi H, Wiesent N, Enzler R, Gysin P 2010 Zweisystemfähige Triebzüge ALLEGRA der Rhätischen Bahn Elektrische Bahnen 6 pp 243-256.

10. Luszcz J, Dworakowski P 2010 Destructive impact of PWM inverters on traction AC motors Electromotion. 17 pp 55-60. **11.** Litovchenko V V 1974 Issledovanie elektromagnitnyh processov v silovyh cepyah elektropodvizhnogo sostava peremennogo toka s asinhronnymi tyagovymi dvigatelyami. Tema kandidatskoj dissertacii i avtoreferata po 05.09.03, Moscow p 196. **10.** CHernyh, I V 2008 Modelirovanie lektrotekhnicheskikh ustrojstv v Matlab Sim Power Systems i Simulink [Tekst] Moscow DMK Press 288. **12.** German-Galkin S G 2001 Komp'yuternoe modelirovanie poluprovodnikovyyh sistem. MatLab 6.0 [Tekst] Saint Petersburg KORONA print 320. **13.** Danilov E B 2014 Asinhronnyj tyagovyj privod vagonov metropolitena Uchebnoe posobie Moscow 36. **14.** Dvigatel' asinhronnyj tyagovyj TADVМ 280. Rukovodstvo po ekspluatacii. VAKI.520205.279 RE Vladimir. **15.** Elektrodvigatel' asinhronnyj tyagovyj DATM-2U2. Rukovodstvo po ekspluatacii. EIAC.526813.003 RE Pskov. **16.** Dvigatel' asinhronnyj tyagovyj DATE170. Rukovodstvo po ekspluatacii. IBZHK.556672.008 RELys'va. **17.** Elektrodvigatel' tyagovyj asinhronnyj DTA 170 U2 dlya metropolitena. Rukovodstvo po ekspluatacii. OTR.460.054 TO Riga. **18.** Dvigatel' asinhronnyj tyagovyj TA280M4 U2 Rukovodstvo po ekspluatacii. DT.52025.083 RE Yaroslavl'. **19.** Tyagovyj asinhronnyj dvigatel' TAD 280M 4U Komplekt chertezhej AEK "Dinamo". **20.** Andreev V P, Sabinin Yu A 1963 Osnovy elektroprivoda 2nded revised Moscow-Leningrad Gosenergoizdat 772. **21.** Syromyatnikov I M Mamikonyanca LG 1984 Rezhimy raboty asinhronnyh i sinhronnyh dvigatelej 4thed. Moscow Energoatomizdat 240. **22.** Veshenevskij S N 1977 Harakteristiki dvigatelej v elektroprivode 6thed revised Moscow "Energiya" 432. **23.** Sokolov M M, Petrov L P, Masandilov L B, Ladenzon V A 1967 Elektromagnitnye perekhodnye processy v asinhronnom elektroprivode Moscow Energiya 200.

О ПЕРСПЕКТИВАХ ДОБЫЧИ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ С ПРИМЕНЕНИЕМ ТЕХНОЛОГИИ БУРЕНИЯ

Бандюк М.А. (ФГБУН Научно-исследовательский геотехнологический центр
Дальневосточного отделения Российской академии наук, Петропавловск-Камчатский,
Россия)

***Abstract:** The current state and prospects of development of the mining industry are analyzed. The main technologies of mining are considered, the prospects for the development of drilling technology are assessed. A brief description of the methods of fastening wells and the main types of fasteners used is given. Examples of successful mining due to the use of the latest technologies of drilling and fixing wells are given. The advantages and disadvantages of using different types of supports depending on specific geological conditions are analyzed.*

Введение. В России одной из важнейших целей является возрождение утраченной модели советских времен, когда наука и производство объединялись для совместного решения отраслевых проблем.

На данный момент на рынке России до 95% высокотехнологичного сегмента занимают западные компании. Импортозамещение в России является особенно острой проблемой. В связи с введенными западом санкциями, которые коснулись отрасли добычи полезных ископаемых, отечественные компании получили большой спрос на инновационные разработки. В санкционных списках находится даже перечень оборудования, используемого при разработке месторождений и добычи нефти.

Ныне отечественные производители разработок должны не только конкурировать с крупными западными компаниями на внутреннем рынке, но и полностью обеспечивать научную, техническую и технологическую базу российского сектора отрасли.

Сложность условий добычи растет с каждым годом. Теперь большее количество природных ресурсов может быть добыто на севере, что приведет к подъему цен на них. Представители Российской академии естествознания делают прогноз, что крупные залежи черного золота могут быть обнаружены в арктическом шельфе [4].

Добыча полезных ископаемых является одной из важнейших отраслей мировой экономики. Однако, с течением времени, в поверхностных слоях земной коры становится все меньше запасов и растет сложность их добычи. Технология бурения является одним из главных методов добычи полезных ископаемых [3]. В статье рассматриваются способы добычи полезных ископаемых, какая доля от них приходится на бурение, способы и виды крепления скважин, и их применение.

Методы и материалы. В работе выполнен анализ отечественных и зарубежных источников по проблеме добычи полезных ископаемых применением технологии бурения. В качестве материалов были использованы отчеты по добыче полезных ископаемых, научные статьи современных исследователей, а также официальные данные о объемах добычи.

Результаты исследования. Добыча полезных ископаемых является важной отраслью промышленности во многих странах мира. Существует несколько основных методов добычи ископаемых: открытым способом, подземным способом и морским способом. Открытый способ применяется для добычи каменных и минеральных руд. Подземный способ используется для добычи угля, металлических руд и нефти. Морской способ применяется для добычи нефти и природного газа на шельфе [2].

Согласно данным Международного Агентства Энергетики, средний ежегодный рост потребления энергии в мире составляет около 1,3%, и до 2040 года этот показатель

возрастет в два раза. В свою очередь, добыча нефти и газа является одним из ключевых факторов в развитии мировой экономики [8].

Согласно статистике, в России доля добычи полезных ископаемых, осуществляемая с применением технологии бурения, составляет около 60%. Угольная промышленность является наиболее действенным примером успешной добычи полезных ископаемых с использованием технологии бурения [8].

Современные технологии бурения позволяют расширять границы добычи полезных ископаемых, обеспечивать большую точность и эффективность в работе. Например, использование стимулированного гидравлического разрыва позволяет повышать эффективность добычи сланцевой нефти и газа.

Помимо этого, добыча полезных ископаемых с применением технологии бурения является важной отраслью экономики и источником рабочих мест. Согласно последним данным, на 2022 год в России зарегистрировано более 3000 предприятий, которые занимаются бурением и добычей полезных ископаемых [9].

Россия, самая большая страна в мире, имеет более 20 000 месторождений полезных ископаемых. Запасы ресурсов, оцениваемые в 30 трлн. долларов, равномерно распределены по всей территории России, что гарантирует их использование на многие века вперед. Страна занимает одно из лидирующих мест по запасам природных ресурсов на планете [9].

Экономическая география полезных ископаемых России такова [4]:

- На Дальнем Востоке и в Якутии сосредоточены наибольшие природные запасы золота.

- Большинство углеводородов находится в Ямало-Ненецком автономном округе, а также в Татарстане, Башкортостане, Удмуртии, Оренбургской области, на территории бассейна реки Волги и на острове Сахалин.

- Серебро в значительных количествах присутствует на территории Восточной Сибири и в горах Урала.

- Нерудные строительные материалы обнаружены в Восточной Сибири.

- Большая часть каменного угля находится за Уральским Хребтом.

- Горючие сланцы расположены в районах, прилегающих к Балтийскому морю.

- Железная руда обнаружена на Балтийском щите, в Курской области и на Кольском полуострове.

- Запасы урана присутствуют в Забайкалье.

- Урал и Западная Сибирь богаты алюминием.

- Таймыр и восток Сибири - места, где сконцентрированы цветные металлы.

- Драгоценные и полудрагоценные камни распространены в горных массивах Урала, Алтая и Саян.

Необходимо отметить, что большинство природных ресурсов расположены в труднодоступных районах и отличаются низким содержанием полезных компонентов.

Введение первых санкций на российские банки и наложение «самосанкций» со стороны западных покупателей российской нефти в марте 2022 года вызвало опасения экспертов относительно резкого снижения добычи в России. Международное энергетическое агентство ожидало, что добыча нефти снизится на 3 миллиона баррелей в сутки уже в первой половине 2022 года. Несмотря на это, на практике, добыча после резкого снижения в апреле почти непрерывно возрастала, и к декабрю даже вышла на уровень досанкционных показателей. В результате общее производство нефти и конденсата в России по итогам года оказалось даже выше, чем в 2021 году, и превысило 530 миллионов тонн [9].

Согласно отчету по динамике промышленного производства, с января по август в России было извлечено 354 миллиона тонн нефти и газового конденсата. Это на 3,1%

больше, чем в сравнимый период прошлого года [9].

Объемы извлечения газа за первые 8 месяцев 2022 года составили 389 миллиардов метров кубических, что на 10,4% меньше, чем за аналогичный период 2021 года. Также за указанный период в России произвели 21,6 миллионов тонн сжиженного природного газа, увеличив мощности на 13,5%.

По данным Росстата, в 2022 году в России было добыто 277 миллионов тонн угля всех сортов, что на 1,6% меньше, чем в том же периоде прошлого года. Добыча металлических руд сократилась на 3,5%. Объемы извлечения железной руды составили 200,9 миллионов тонн — это на 4,1% меньше, чем за 2021 год.

Также за указанный период в России были произведены 64,43 миллиона тонн железорудного концентрата (-4,3%), 38,44 миллиона тонн железорудного агломерата (-1,1%) и 32,5 миллиона тонн железорудных окатышей (-9,9%) [9].

В Карском море сейчас идет бурение уникальной скважины, которая станет самой северной в России. Ученые подчеркивают, что открытие новой нефтеносной провинции и ее разработка могут стать прорывом в нефтяной отрасли страны. Прогнозируемые запасы в этом регионе сравнимы по объемам с колоссальными запасами Саудовской Аравии. Кроме того, в районе Моря Лаптевых ведутся разведочные работы, и уже через год начнется бурение скважин. Если успешно освоить нефтегазоносность этого района, это обеспечит России новое направление для развития нефтяной отрасли [8].

Однако, строительство и ремонт нефтегазовых скважин на суше и континентальном шельфе России остаются актуальными проблемами. Бурение скважин – это сложный технологический процесс, от которого зависит последующая добыча нефти. Скорость бурения, используемые материалы и технологии – все это важные факторы, влияющие на качество строительства скважин.

Поэтому для России одним из наиболее перспективных направлений является исследование в области техники и технологии бурения и оснащения скважин. Различные разработки в этой области уже обеспечили серьезный прорыв в нефтяной отрасли, позволяющий достигать высокого уровня качества бурения и строительства скважин.

Наибольшее место в добыче занимает нефть и газ. Технология бурения используется для добычи нефти и газа, и является основным методом обнаружения и исследования нефтегазоносных залежей [1]. Технология бурения включает в себя различные методы, такие как роторное бурение, направленное бурение, горизонтальное бурение и др.

Одним из наиболее распространенных методов бурения является роторное бурение. Этот метод используется для бурения стволов и скважин большого диаметра. В основе роторного бурения лежит вращение бура (вокруг своей оси с помощью вращающейся колонны бурильных труб). Насосы подают буровой раствор в рабочую зону, который охлаждает бурящий инструмент и удаляет разрушенный грунт из скважины [4].

Существуют различные технические характеристики для роторного бурения, такие как мощность нагнетателя, диаметр бура, глубина бурения, скорость вращения и давление бурового раствора. Применение правильных технических характеристик может повысить эффективность добычи и уменьшить затраты на производство [3].

Специфика бурения стволов и скважин большого диаметра заключается в использовании более мощного оборудования и бурильных инструментов, а также более точной настройки технических параметров. Это позволяет обеспечить правильную глубину и диаметр скважины, а также уменьшить риски аварий и повреждений оборудования.

Бурение является ключевой технологией в добыче газа, нефти, угля, руды и других полезных ископаемых на месторождениях. Современные методы бурения с высокотехнологичным оборудованием позволяют реализовать крупные проекты с максимальной эффективностью и точностью.

Использование технологии бурения позволяет значительно увеличить объемы добычи полезных ископаемых. Доля объемов, добываемых с помощью бурения, существенно выросла в последние десятилетия. Особенно важно это для угольной промышленности, где процесс бурения является основным способом добычи [6].

Важным этапом процесса бурения является крепление скважин, которое обеспечивает необходимую надежность и безопасность работы на месторождениях. Существует несколько видов крепежных систем для обеспечения прочности и устойчивости стенок скважины. Технологии крепления скважин и виды крепей играют важную роль при добыче полезных ископаемых. Обзор этих технологий и креплений позволяет проанализировать их преимущества и недостатки, а также оценить их эффективность в конкретных геологических условиях [2].

Одним из наиболее распространенных видов крепежей является болтовая крепь. Она применяется для крепления зон обвала, создания анкерных болтов для водозаборных и дренажных скважин. Болтовая крепь имеет ряд преимуществ, таких как простота и быстрота монтажа, а также возможность крепления в сложных горных условиях [1].

Еще один вид крепежа – анкерная планка. Она используется для крепления кровли и стен. Анкерная планка имеет высокую прочность, надежность и устойчивость к вибрациям. Кроме того, существует система укрепления затвердевающими растворами, которая обладает высокой прочностью и эффективностью. Эта система используется в конструкциях, где требуется создание надежного соединения между скважиной и прилегающим горным массивом.

Однако, каждый вид креплений имеет свои ограничения и недостатки, и выбор конкретной технологии крепления зависит от геологических условий месторождения. Для достижения наилучшего результата необходимо проводить тщательный анализ и выбирать оптимальную технологию крепления скважин, учитывая все факторы и особенности каждого конкретного месторождения.

Выводы. Использование технологии бурения является неотъемлемой частью процесса добычи полезных ископаемых. Бурение позволяет значительно увеличить объем добычи, что в свою очередь повышает экономические показатели отрасли. Крепление скважин имеет большое значение в обеспечении безопасности работы на месторождениях. Различные виды крепи требуют индивидуального подхода в зависимости от геологических особенностей месторождения. Однако, важно учитывать, что без обеспечения экологической безопасности в добыче полезных ископаемых, все другие достижения становятся неважными. Важно продолжать развивать технологии бурения и крепления скважин с учетом максимально возможного сокращения вредных экологических влияний.

Список литературы: 1. Бушуев, В. В. Мировой нефтегазовый рынок: инновационные тенденции / В.В. Бушуев. - М.: Энергия, 2021. - 193 с. 2. Итоги 2022 года: нефть, газ, уголь. Электронный ресурс / URL: <http://neftianka.ru/itogi-2022-goda-neft-gaz-ugol/> (дата обращения – 15.06.2023). 3. Геология и геохимия горючих ископаемых. Часть 2. Твердые горючие ископаемые. - М.: КДУ, 2019. - 236 с. 4. Альбов, М. Н. Опробование месторождений полезных ископаемых. Учебное пособие / М.Н. Альбов. - М.: Недра, 2020. - 240 с. 5. Росстат представил данные по добыче полезных ископаемых. Электронный ресурс / URL: <https://dprom.online/mtindustry/rosstat-danniye-po-dobichye-polyeznih-eeskopayemih/> (дата обращения – 15.06.2023). 6. Арбузов, В. Н. Геология. Технология добычи нефти и газа. Практикум / В.Н. Арбузов, Е.В. Курганова. - М.: Юрайт, 2020. - 705 с. 7. Михайлов, Ю. В. Ценные руды. Технология и механизация подземной разработки месторождений / Ю.В. Михайлов, Ю.Д. Красников. - М.: Academia, 2020. - 256 с. 8. Вадецкий, Ю. В. Бурение нефтяных и газовых скважин / Ю.В. Вадецкий. - М.: Академия, 2020. - 352 с. 9. Геофизические исследования скважин. - М.: Инфра-Инженерия, 2021. - 960 с.

АНАЛИТИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ И КОМПЬЮТЕРНАЯ ИМИТАЦИЯ ПОТОКА ВОЗДУХА В СЕПАРАЦИОННОМ ДИФFUЗОРЕ

Бараниченко В.В., Бедоидзе М.В., Горовой К.И., Ермаков А.С., Цымбалов Д.С.,
Яценко О.В.

(ДГТУ, г. Ростов-на-Дону, Россия)

Тел: +7 (951) 8475165; E-mail: oleg_v_yatcenko@mail.ru

Abstract: An original approach to describe airflow in the thin conic diffusor is suggested. It is based on approximate analytic solution of continuity equation. In addition simplified model of turbulence is combined. Reliability of derived formula is confirmed by comparison with finite-element solution for designed experimental setup. The elaboration is intended to direct computer simulation of multiphase flow.

Изучение динамики пылевоздушных смесей крайне актуально для проектирования аспирационных систем [1]. Чрезвычайная сложность и многофакторность процесса требует корректного выделения ведущих эффектов и связей при конструировании соответствующих информационных моделей. Определить значимость того или иного фактора на структуру многофазного потока позволяет лишь специально спланированный эксперимент. Ниже предлагается приближенное аналитическое описание течения в вертикально ориентированном сепарационном диффузоре (рис. 1), предназначенном для непосредственного визуального наблюдения динамики частиц с известными геометрическими и массовыми характеристиками.

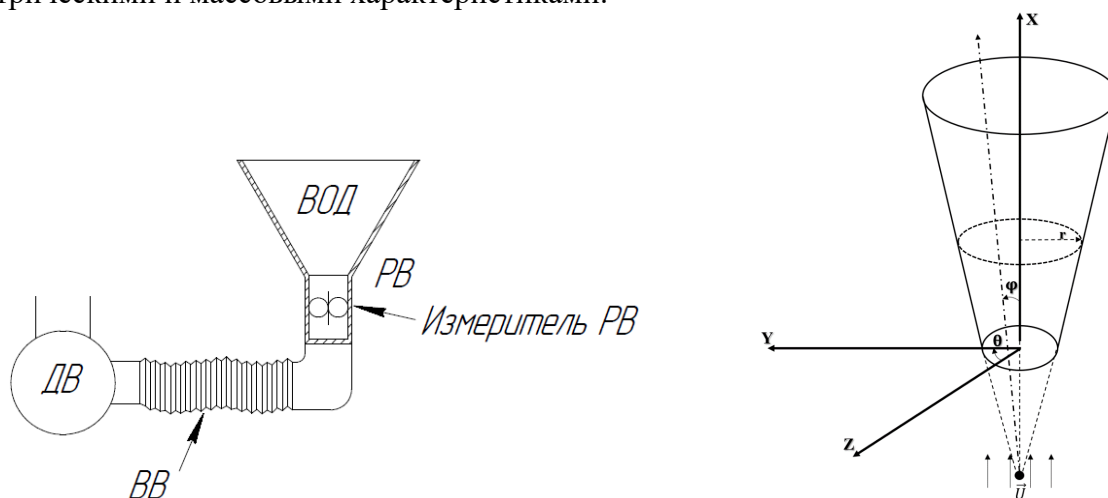


Рис. 1. Схема установки по разделению полидисперсных сыпучих сред. Слева – конструкция экспериментальной установки: ВОД – вертикально ориентированный диффузор; РВ – расходомер воздуха; ВВ – воздуховод; ДВ – дутьевой вентилятор. Справа – использованные в математической модели декартова и сферическая системы координат.

Удобным способом описать движение пылевоздушной смеси является комбинирование моделей сплошной среды для несущего потока и ньютоновской динамики для увлекаемых им частиц. Поскольку непосредственное наблюдение левитации модельных частиц в установке рис. 1 выявило неадекватность упрощенной двумерной модели течения [2], в частности, важную, не учтенную роль неоднородности трехмерного скоростного поля с большими градиентами у стенок, главным направлением исследований нами выбран учет этих факторов в усовершенствованном математическом описании. Его основу составляют уравнения сплошности, движения и сохранения энергии применительно к потоку:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \operatorname{div}(\rho \mathbf{U}) = 0, \quad (1)$$

$$\rho \frac{\partial \mathbf{U}}{\partial t} + \frac{1}{2} \nabla \rho U^2 = -\nabla p, \quad (2)$$

$$\frac{\partial}{\partial t} \left(\rho \frac{U^2}{2} + \rho \varepsilon \right) + \operatorname{div} \left(\rho \mathbf{U} \left(\frac{U^2}{2} + \omega \right) \right) = 0, \quad (3)$$

В этих уравнения независимыми переменными служат пространственная координата $\mathbf{X} = \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix}$ и время t , а искомыми функциями – векторное поле скорости

$\mathbf{U} \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} u_x \\ u_y \\ u_z \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix}$, а также скалярные поля давления $P \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix}$ и плотности $\rho \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix}$. В урав-

нении (1.3) фигурируют также дополнительные переменные $\varepsilon \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix} = c \cdot T \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix}$ – удель-

ная внутренняя энергия воздуха, $c = 20.8 \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}}$ – его теплоёмкость (при постоянном

объёме), $T \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix}$ – абсолютная температура; $\omega \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix} = \varepsilon \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix} + \frac{P \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix}}{\rho \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix}}$ – локальная тепловая

функция.

Так как четыре искомые функции $\mathbf{U} \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix}, P \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix}, \rho \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix}, T \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix}$ связаны лишь тре-

мя уравнениями (1) - (3), однозначно определить их можно лишь задав дополнительную жесткую связь. Таковой для воздуха, как и прочих газов при умеренных давлениях, выступает уравнение состояния Менделеева – Клапейрона:

$$P \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix} = \frac{\rho \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix}}{\mu} RT \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix}. \quad (4)$$

где $\mu = 0.029 \frac{\text{кг}}{\text{моль}}$ – молярная масса воздуха, $R = 8.31 \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}}$ – универсальная газовая постоянная.

Для адаптации общей модели (1) - (4) к условиям вертикально ориентированного диффузора (ВОД) рассмотрим его конструкцию и особенности функционирования. ВОД представляет собой усеченный конус из прозрачного пластика, ось которого направлена по гравитационному полю Земли, а малое открытое основание (через него поступает воздух от дутьевого вентилятора - ДВ) расположено снизу (см. рис. 1). Нагнетаемый в ВОД воздух, затормаживаясь вследствие увеличения сечения, истекает через верхнее открытое основание. Система, очевидно осесимметрична, чем обуславливается рациональность сокращения числа независимых пространственных переменных до двух: x – осевая и r – радиальная. Наряду с этим обстоятельством, упрощающим модель, следует учесть, что ВОД предполагает стационарный режим работы (т.е. поля скорости, давления и плотности не меняются со временем), и, следовательно, из (1) - (3) исключаются все производные по времени. Также не предполагается использовать ВОД в около- и сверхзвуковых режимах, что позволяет пренебречь передачей кинетической энергии в тепловую и соответствующим изменением плотности. В результате

исключается переменная $\rho \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix}$, полагаемая $\rho \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix} = \text{const}$ и соответственно уравнение энергопреобразования (3).

В целях удобства введем соответствие между естественной для конуса сферической системой координат и декартовой, которая обеспечивает симметричную запись уравнений движения Ньютона. Удобно совместить начало обеих систем в вершине нашего усеченного конуса, линейную ось сферической системы выбрать сонаправленной оси абсцисс декартовой системы координат (ДСК), ось ординат ДСК направить как показано на рис. 1, а ось аппликат - так, чтобы образовалась правая тройка векторов Ox, Oy, Oz .

Соответственно направления широтного φ и азимутального θ углов отсчитываются от x к y в плоскости xOy и от y к z в плоскости yOz , соответственно. В результате координаты каждой точки можно выразить двояко – как $\begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix}$, либо как $\begin{pmatrix} R \\ \varphi \\ \theta \end{pmatrix}$, а между наборами координатных переменных существует связь $\begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix} \leftrightarrow \begin{pmatrix} R \\ \varphi \\ \theta \end{pmatrix}$ (см. рис. 1):

$$\begin{aligned} x &= R \cdot \cos \varphi, \\ y &= R \cdot \sin \varphi \sin \theta, \\ z &= R \cdot \sin \varphi \cos \theta. \end{aligned} \quad (5)$$

Обратным к преобразованию координат служит:

$$\begin{aligned} R &= \sqrt{x^2 + y^2 + z^2}, \\ \varphi &= \arcsin \left(\frac{\sqrt{z^2 + y^2}}{\sqrt{x^2 + y^2 + z^2}} \right), \\ \theta &= \begin{cases} \arctg \frac{y}{z}, z > 0 \\ \pi + \arctg \frac{y}{z}, z < 0 \end{cases}. \end{aligned} \quad (6)$$

Вырезаемая конусом часть пространства задается границами, достижение которых пылевыми частицами сопровождается перечисленными ниже актами:

$$\begin{aligned} x^2 + y^2 + z^2 &\leq R_{\min}^2 - \text{проваливание вниз}, \\ x^2 + y^2 + z^2 &\geq R_{\max}^2 - \text{вылет вверх}, \\ \arcsin \frac{x}{\sqrt{x^2 + y^2 + z^2}} &\geq \varphi_{\max} - \text{удар в боковую стенку}. \end{aligned} \quad (7)$$

Учитывая, что на входе в диффузор при $R = R_{\min}$ скорость потока максимальна и характеризуется величиной $|U_{\max}|$, из условия несжимаемости газа получаем окончательное распределение осредненной скорости $U(x, y, z)$:

$$U(x, y, z) = |U(R_{\min})| \cdot \frac{R_{\min}^2}{x^2 + y^2 + z^2} \cdot \left(1 + \frac{2}{2 + 8 \cdot e^{-\frac{2222}{\operatorname{Re}(\sqrt{x^2 + y^2 + z^2})}}} \right) \times$$

$$\times \left(1 - \left(\frac{\arcsin\left(\frac{\sqrt{y^2 + z^2}}{\sqrt{x^2 + y^2 + z^2}}\right)}{\varphi_{\max}} \right)^{2 + 8 \cdot e^{-\frac{2222}{\operatorname{Re}(\sqrt{x^2 + y^2 + z^2})}}} \right) \begin{pmatrix} \frac{x}{\sqrt{x^2 + y^2 + z^2}} \\ \frac{\sqrt{z^2 + y^2}}{\sqrt{x^2 + y^2 + z^2}} \sin \begin{cases} \arctg \frac{y}{z}, z > 0 \\ \pi + \arctg \frac{y}{z}, z < 0 \end{cases} \\ \frac{\sqrt{z^2 + y^2}}{\sqrt{x^2 + y^2 + z^2}} \cdot \cos \begin{cases} \arctg \frac{y}{z}, z > 0 \\ \pi + \arctg \frac{y}{z}, z < 0 \end{cases} \end{pmatrix} \quad (8)$$

Турбулентность течения в имитационной модели предлагается учесть путем добавки случайной составляющей ежемоментно в каждой точке. Величину такой случайной составляющей предполагается подобрать, чтобы удовлетворять условиям параллельно выполняемого физического эксперимента, с одной стороны, и увязывая со значением локального числа Re , с другой.

Результаты расчета скоростного поля в ВОД с геометрическими размерами, соответствующими лабораторной конструкции рис. 1, приведены на рис. 2.

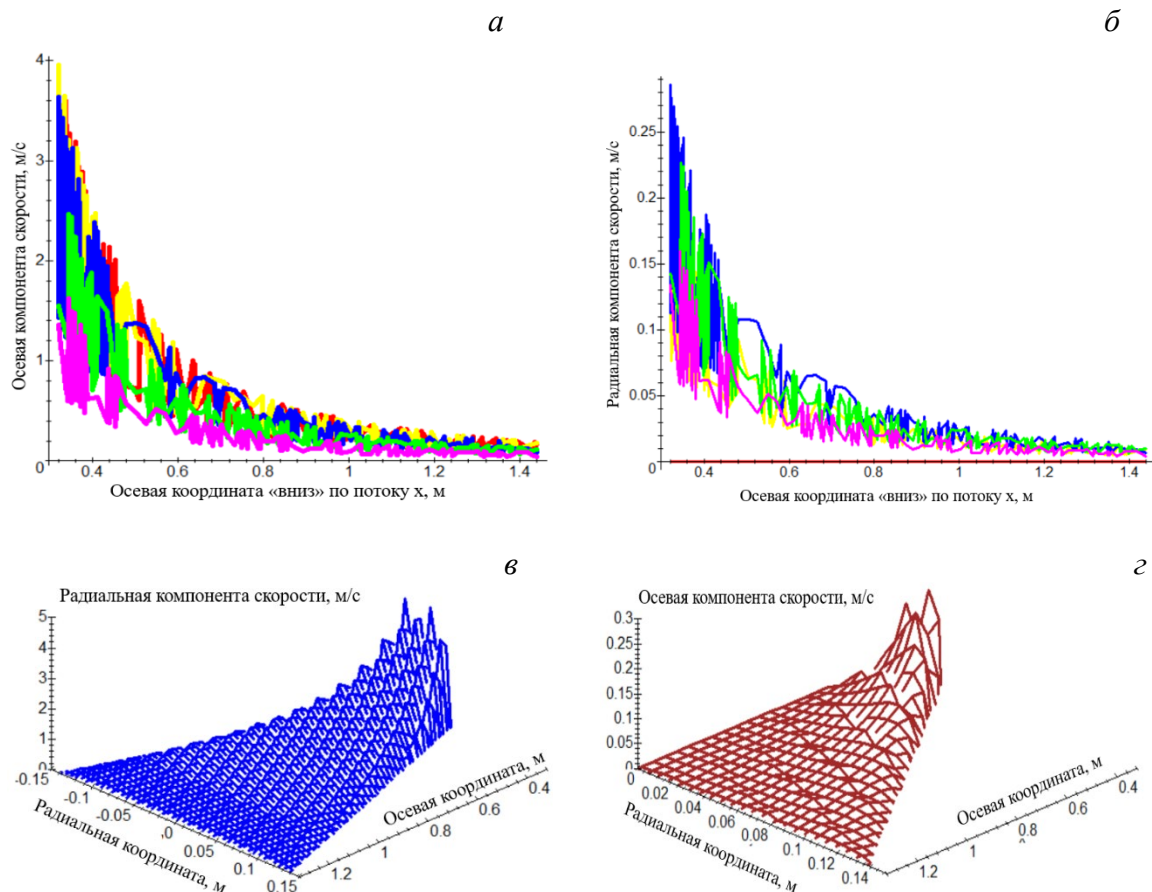


Рис. 2. Распределение осевой (а, в) и радиальной (б, г) компонент скорости вдоль оси диффузора: реальная вязкость, турбулентность учтена, отдельные линии соответствуют удаленности от оси φ : $\varphi = 0$ (осевая линия) – красная кривая; $\varphi = \frac{\varphi_{\max}}{2}$ – желтая; $\frac{3 \cdot \varphi_{\max}}{4}$ – синяя; $\frac{7 \cdot \varphi_{\max}}{7}$ – зеленая; $\frac{15 \cdot \varphi_{\max}}{16}$ – фиолетовая

Для проверки решения (8) применительно к параметрам лабораторной установки, изображенной на рис. 2, в среде Ansys создана 3D-модель и сгенерирована расчетная сетка согласно рис. 3. Полученное в результате численного конечно-элементного интегрирования уравнений (1) – (3) поле скоростей $U(x, y, z)$ показано на рис. 4. Непосредственное сопоставление данных рис. 2 и рис. 4 свидетельствует о надежности выведенной в данной работе приближенной формулы (8). Ее преимуществом перед численным решением рис. 4 является легкая «встраиваемость» в комбинированную Эйлер – Ньютоновскую модель движения пылевоздушной смеси.

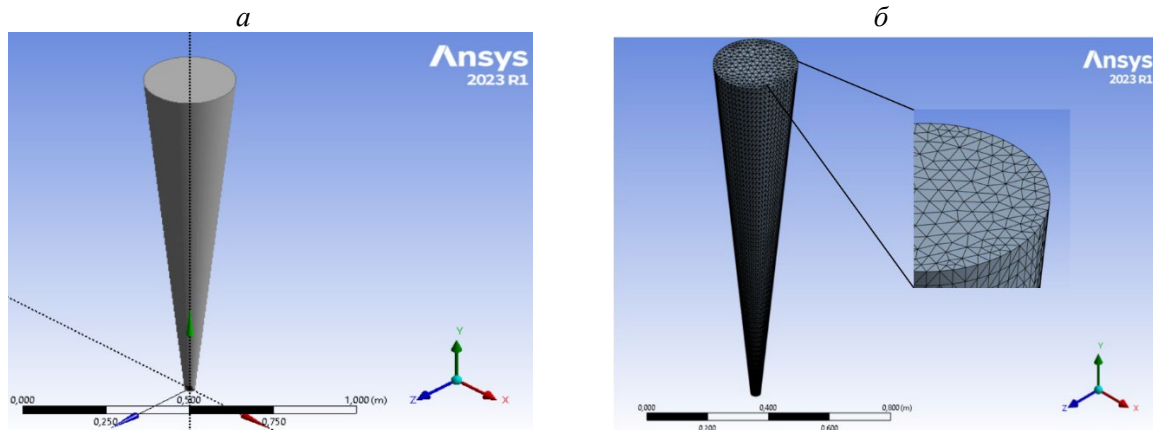


Рис. 3. 3D-модель (а) и конечно-элементная дискретизация полости (б) ВОД в Ansys

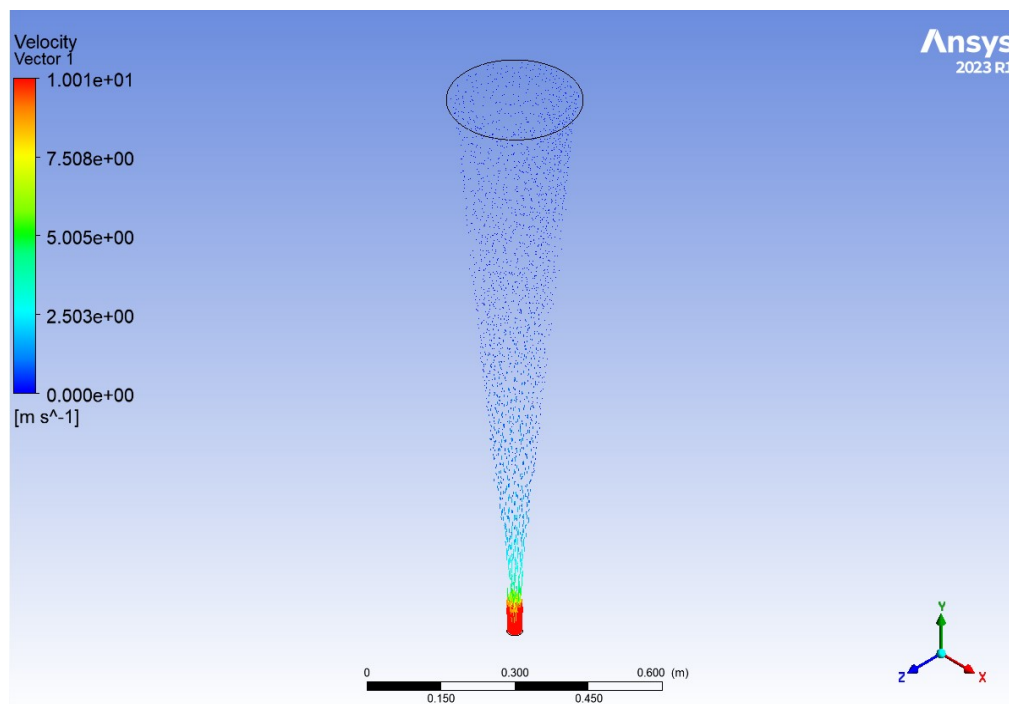


Рис. 4 Результаты компьютерной имитации течения в диффузоре средствами Ansys. Условия расчета: длина усеченного конуса – 1300 мм; внешний диаметр 306 мм; течение турбулентное

Если считать пылевые частицы (из вещества плотности ρ) имеющими форму близкую к правильной и характеризуемую линейными размерами a , b и c , можно составить уравнение их движения в воздушном потоке. Для простоты положим объем частиц

равным $V = a \cdot b \cdot c$, а площадь граней $S = \begin{cases} a \cdot b \\ b \cdot c \\ c \cdot a \end{cases}$. Попад в гравитационное поле, харак-

теризуемое вектором \mathbf{g} , и одновременно в поток воздуха с полем скорости $\mathbf{U}(\mathbf{K}(t))$, частица вовлекается в движение согласно одному из законов Ньютона. Здесь использо-

вано обозначение $\mathbf{K}(t) = \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix}(t)$ для мгновенного положения частицы. В рамках вы-

бранной модели математическая формулировка уравнения Ньютоновской динамики для каждой отдельной частицы дается векторным дифференциальным уравнением второ-

го порядка:

$$\frac{d^2\mathbf{K}(t)}{dt^2} = -\mathbf{g} - \frac{\varepsilon_1}{\rho(a \cdot b \cdot c)^{\frac{1}{3}}} \left[1 + \frac{\varepsilon_2}{\varepsilon_1} \cdot \left| \frac{d\mathbf{K}(t)}{dt} - \mathbf{U}(\mathbf{K}(t)) \right| \right] \cdot \left(\frac{d\mathbf{K}(t)}{dt} - \mathbf{U}(\mathbf{K}(t)) \right). \quad (9)$$

Численное интегрирование (9) не сопряжено с принципиальными трудностями и

ограничивается лишь числом одновременно рассматриваемых объектов. Опыт работы с

2D-моделью [2] показал, что интерпретирующие системы типа Python позволяют изу-

чать динамику максимум двух десятков частиц. Соответственно внесенное здесь уточ-

нение модели потока повысит реалистичность имитации, но потребует использовать

компиляторы типа Fortran.

Заключение

Предложена и успешно протестирована математическая модель течения воздуха в ВОД. Модель учитывает погранслои и турбулентность. Выражаемая явными аналитическими зависимостями, она удобна для встраивания в программные комплексы.

Список литературы: 1. Orme M., Leksmono N. Ventilation Modeling Data Guide. Document AIC-GUI 05. ISBN 2 9600355 2 6. 2002. 80 p. 2. Азимова Н.Н., Бараниченко В.В., Бедоидзе М.В. и др. Компьютерная программа «Имитационное моделирование 2D-динамики пылевоздушной смеси в вертикально ориентированном диффузоре» / Свод о регистрации эл. ресурса №25090 ОФЭРНиО. 27.12.22.

ОПЕРАТИВНЫЙ АНАЛИЗ ШУМОВОЙ ОБСТАНОВКИ НА РАБОЧИХ МЕСТАХ СТАНКОВ ЛЕСОПИЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Бараниченко В.В., Бедондзе М.В., Ермаков А.С., Милев И.Ю.,
Цымбалов Д.С., Харахашьян А.М.

(ДГТУ, г. Ростов-на-Дону, Россия)

Тел: +7 (951) 8475165; E-mail: oleg_v_yatcenko@mail.ru

Abstract: The noise generation model related to wood-sawing is integrated with detailed measurements in situ. A new technique for noise field in occupational zone of wood-sawyers determination is elaborated and tested successfully. New requirements to mathematical description of noise generation by material cutting are formulated.

Шумовое поле в рабочей зоне деревообрабатывающего, в частности, пильного оборудования не только выступает фактором вредности производственной среды, но также служит важным индикатором состояния станков, режущего инструмента и напряженности технологического процесса [1]. Совокупность перечисленных обстоятельств обуславливает актуальность оперативной детальной диагностики шумовой обстановки с автоматизированной идентификацией критичных факторов и показателей (чрезмерный износ режущих кромок, недопустимая зашумленность в рабочей зоне станочника и др.). Поэтому целью данного исследования ставится выработка новых ужесточенных требований к методикам расчета шумности вновь производимого оборудования на основе анализа их способности адекватно прогнозировать эту характеристику. Для достижения этой цели авторам необходимо было решить ряд задач, главные из которых следующие: 1) разработать подробную математическую модель шумообразования при распиле древесины циркулярной пилой; 2) создать специализированный программный продукт, позволяющий идентифицировать шумовой спектр в рабочей зоне пильщиков при помощи ПК; 3) выполнить сопоставление расчетных и экспериментальных шумовых спектров; 4) сконструировать и обучить нейросеть в целях оперативной диагностики шумовой обстановки; 5) исследовать аналитические возможности специализированной нейросети и 6) сформулировать основные требования к детальности математической модели шумообразования.

Общей моделью свободных колебаний пильного диска является следующая [2]:

$$\frac{\partial^2 F(r, \varphi, t)}{\partial t^2} + \varepsilon \frac{\partial F(r, \varphi, t)}{\partial t} + \frac{\varepsilon^2}{4} F(r, \varphi, t) + \frac{D}{\rho h} \left[\frac{\partial^2}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2}{\partial \varphi^2} \right]^2 F(r, \varphi, t) = 0, \quad (1)$$

где $F(r, \varphi, t)$ – смещение пластины; ε – коэффициент затухания; r – расстояние от центра ($0 \leq r \leq R$); φ – угол, отсчитываемый от положения равновесия ($0 \leq \varphi \leq 2\pi$); ρ – плотность материала (в нашем случае стали); t – время. $D = \frac{Eh^3}{12(1-\mu^2)}$ – цилиндрическая жёсткость; где E – модуль Юнга; h – толщина пластины; $\mu \approx 0.25 \div 0.3$ – коэффициент Пуассона.

После замены переменных

$$F(r, \varphi, t) = G(r, \varphi, t) e^{-\frac{\varepsilon}{2}t} \quad (2)$$

получаем:

$$\frac{\partial^2 G(r, \varphi, t)}{\partial t^2} + \frac{Eh^2}{12\rho(1-\mu^2)} \left[\frac{\partial^2}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2}{\partial \varphi^2} \right]^2 G(r, \varphi, t) = 0. \quad (3)$$

Оценка параметров колебания диска показывает, что величина ε мала и

$$F(r, \varphi, t) = G(r, \varphi, t) \quad (4)$$

Модель (3) отвечает свободным колебаниям пильного диска, а описание процесса резания требует добавить источник $f(r, t)$ ударного возбуждения со стороны режущей поверхности (зубьев).

Общее решение уравнения (3) представимо $G(r, \varphi, t)$ в виде:

$$G(r, \varphi, t) = \mathbb{R}(r) \cdot \Phi(\varphi) \cdot T(t). \quad (5)$$

В работе [2] показано, что общее решение для координатной функции имеет вид:

$$\mathbb{R}(r) = \sum_{n=0}^{\infty} \mathbb{R}_n(r), \quad (6)$$

где

$$\mathbb{R}_n(r) = \mathbb{R}_n^+(r) + \mathbb{R}_n^-(r) = C_{1n} I_n \left(\sqrt{\frac{12\rho(1-\mu^2)}{Eh^2}} \cdot \sqrt{\omega} \cdot r \right) + C_{2n} J_n \left(\sqrt{\frac{12\rho(1-\mu^2)}{Eh^2}} \cdot \sqrt{\omega} \cdot r \right). \quad (7)$$

В формуле (10) $J_n(x) = \sqrt{\frac{2}{\pi x}} \cos(x - \frac{\pi}{4} - \frac{\pi}{2}n)$ – функция Бесселя первого рода;

$I_n(x) \sim \frac{e^x}{\sqrt{2\pi x}}$ – функция Инфельда [3].

Рассматривая установившийся режим в форме

$$f(r) = \delta(r - R), \quad (8)$$

получаем частное решение

$$G(r, t) = \frac{1}{4\pi^2} \left[\sum_{n=1}^{\infty} \frac{\mathbb{R}_n(R)}{\omega_n^2 - \omega^2} \right] e^{-2\pi i \omega t}. \quad (9)$$

где ω – частота ударного воздействия на зубья.

При возмущении (8) спектр технологического шума описывается зависимостью

$$\left(\frac{\mathbb{R}_n(R)}{\omega_n^2 - \omega^2} \right)^2 (\omega_n). \quad (10)$$

Если привязаться к типичным параметрам оборудования и процесса

$$R \approx 0.7\text{м}, h \approx 2\text{мм}, E = 200 \cdot 10^9 \frac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\text{м}^2 \cdot \text{с}^2}, \rho = 7800 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}, \mu = 0.25$$

$$\omega = \frac{\lambda^2}{R^2} \sqrt{\frac{Eh^2}{12\rho(1-\mu^2)}} = \sqrt{\frac{E}{12\rho(1-\mu^2)}} \frac{h\lambda^2}{R^2} = \left\{ \begin{array}{l} R \approx 0.7\text{м} \\ h \approx 2\text{мм} \\ E = 200 \cdot 10^9 \frac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\text{м}^2 \cdot \text{с}^2} \\ \rho = 7800 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \\ \mu = 0.25 \end{array} \right\} = \sqrt{\frac{200 \cdot 10^9 \frac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\text{м}^2 \cdot \text{с}^2}}{12 \cdot 7800 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} (1 - 0.25^2)}} \cdot \frac{0.002}{0.7} \lambda^2, \quad (11)$$

$$\omega_0 \approx 4,3 \frac{1}{\text{с}} = 2\pi f_0 \quad f_0 = \frac{4,3}{2\pi} = 0,69\text{Гц}$$

и ограничиться нормируемым СанПиН диапазоном частот получаем:

$$31,25 \text{ Гц} \leq f < 8000 \text{ Гц}, \quad 31,25 \text{ Гц} \leq f_0 \lambda^2 < 8000 \text{ Гц}, \quad 43 \leq \lambda^2 < 11600 \Rightarrow 6,5 < \lambda < 108$$

. Т.е. практически достаточно ограничиться учетом сотни радиальных колебательных мод.

Вторая задача решалась путем регистрации производственного шума посредством микрофона, соединенного с ПК. Записанный wav-файл обрабатывался быстрым Фурье-преобразованием (БПФ) [4]. В исследовательских целях фиксировался шум шести режимов: холостой ход, а также пиление брусьев размерами 25×25 мм и 50×50 мм при частоте вращения вала 1500 и 3000 мин⁻¹. Использование в анализе холостого хода позволяет принципиально исключить из рассмотрения шум, обусловленный электроприводом.

Сопоставление результатов компьютерного моделирования и экспериментальной фиксации шумового спектра [5] для типичного режима пиления приводится на рис.

1. Представленные данные свидетельствуют о хорошем согласии модели с фактическими данными (низкочастотная часть спектра обусловлена шумом электродвигателя). Кроме того, опытным путем установлена стационарность шумового спектра, о чем свидетельствует мел-спектрограмма на рис. 2.

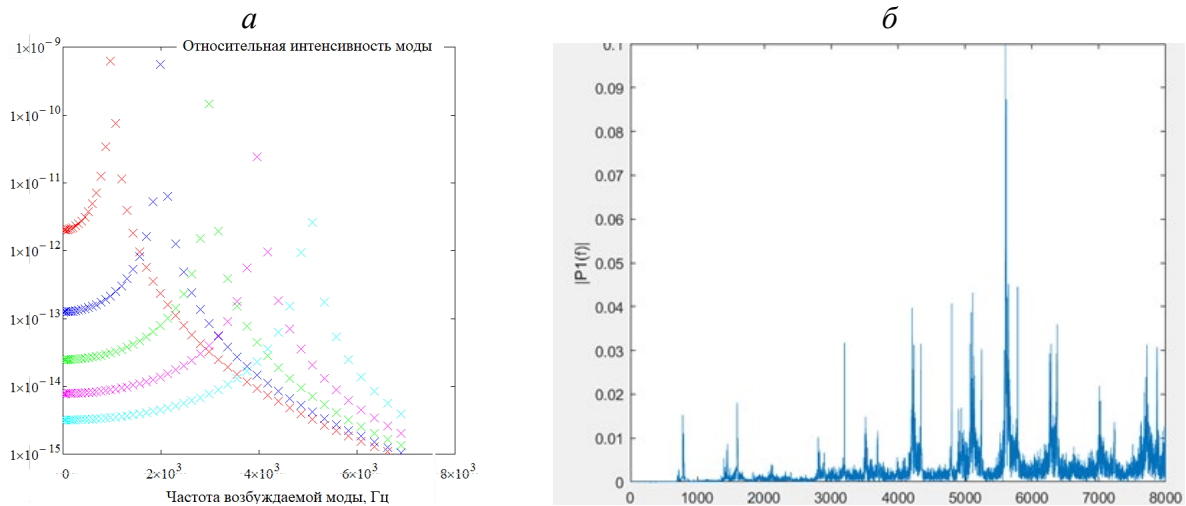


Рис. 1. Синтетический (а) и реальный (б) спектры шума циркулярной пилы. Синтетические спектры соответствуют частоте возбуждения $\omega = 1000, 2000, \dots, 5000$ Гц. Реальный спектр отвечает пилению рейки толщиной 5 см при частоте вращения 1500 мин^{-1}

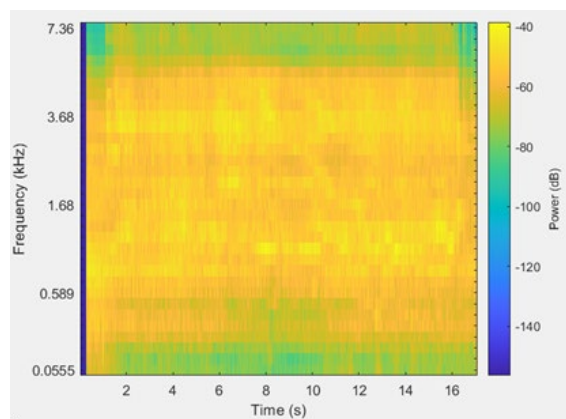


Рис. 2. Мел-спектрограммы пиления рейки толщиной 5 см при частоте вращения 1500 мин^{-1}

Результаты соответствующего компьютерного моделирования при возбуждающей частоте $\omega = 1000, 2000, \dots, 5000$ Гц показаны на рис. 1. Как свидетельствуют результаты расчетов, спектр технологического шума в данном случае является сравнительно узкополосным и определяется частотой ударного воздействия на диск пилы.

Чтобы автоматизировать диагностику шумовой обстановки на рабочих местах пильщиков в данной работе сконструирована нейросеть, структура которой показана на рис. 3.

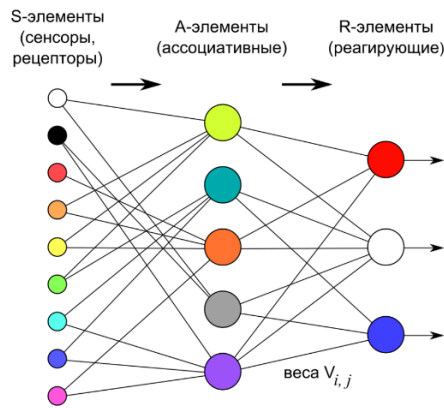


Рис. 3. Выбранная конфигурация нейросети

Для обучения нейросети использовались 18 аудиозаписей распила реек размерами 25×25 мм и 50×50 мм, а также холостого хода на двух скоростях. Для проверки качества ее работы предъявлялись еще 12 подобных аудиозаписей. «Обучаемость» и точность работы нейросети проиллюстрированы на рис. 4. Приведенные данные свидетельствуют, что выбранная длина обучающей выборки является достаточной. Это обусловлено практической стационарностью шума как случайного процесса (см. рис. 2).

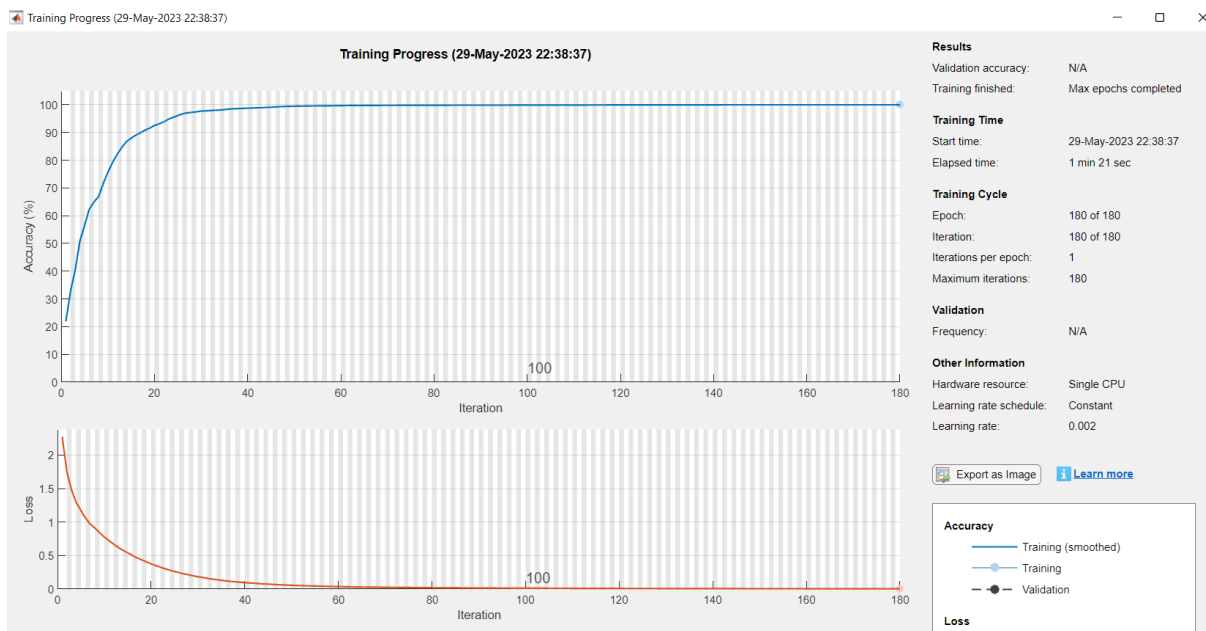


Рис. 4. Динамика обучаемость нейронной сети

Неизбежные ошибки распознавания нейросетью отражены на рис. 5. Их природа, вероятно, в том, что данный технологический шум не истинно, а квазистационарен. Количественно оценить погрешность автоматизированной идентификации шума нейросетью позволяют данные, собранные в таблице. Очевидно, ошибочность ее работы напрямую связана с мерой нестационарности анализируемого шума.

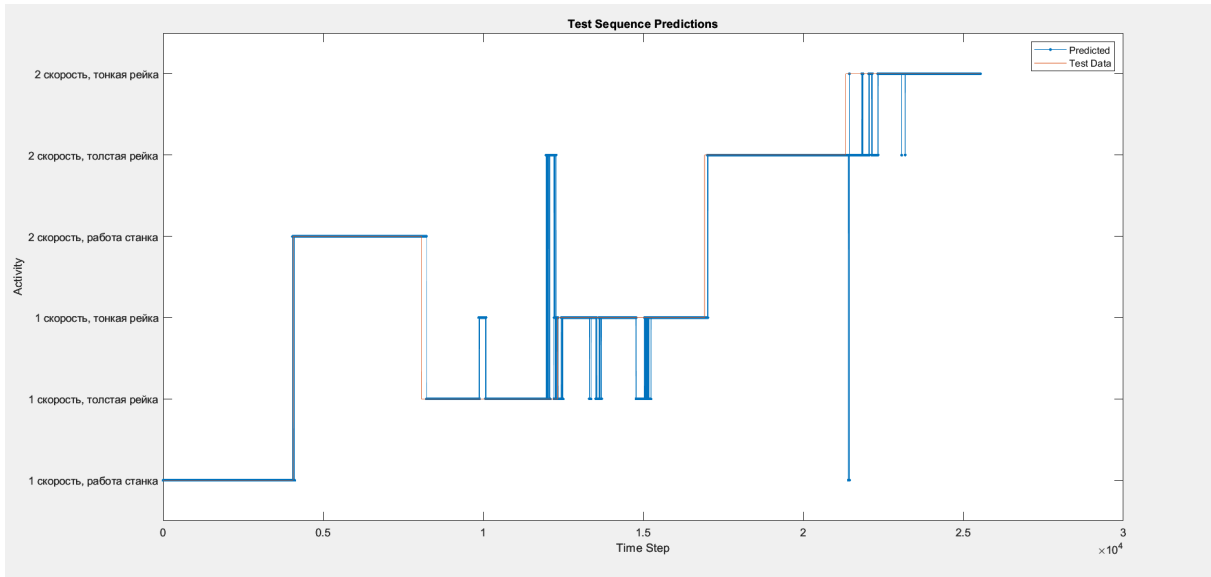


Рис. 5. Ошибки в работе нейросети

Таблица 1

Числовая оценка надежности нейросетевой идентификации технологического шума при распиле древесины

True Class	1 скорость, работа станка	4041			19		
	1 скорость, толстая рейка		3601	275	159	225	
	1 скорость, тонкая рейка		574	4011			
	2 скорость, работа станка	30			3980		
	2 скорость, толстая рейка			97		4313	
	2 скорость, тонкая рейка	7				901	3302
		1 скорость, работа станка	1 скорость, толстая рейка	1 скорость, тонкая рейка	2 скорость, работа станка	2 скорость, толстая рейка	2 скорость, тонкая рейка
		Predicted Class					

Заключение

Была разработана математическая модель шумообразования во время пиления древесины циркулярной пилой. Создан специализированный программный продукт, позволяющий идентифицировать шумовой спектр в рабочей зоне пильщиков при помощи ПК. Выполнено сопоставление расчетных и экспериментальных шумовых спектров. Сконструирована и обучена нейросеть в целях оперативной диагностики шумовой обстановки. Исследованы аналитические возможности специализированной нейросети: установлено, что благодаря специфике изучаемого технологического шума обучающие выборки могут быть достаточно компактными. Также выяснилось, что предложенная математическая модель шумности лесопильного процесса (циркулярным инструментом) достаточно подробна и может использоваться как надежный информационный элемент соответствующего цифрового двойника.

Список литературы: 1. СН2.2.4/2.1.8.562-96. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки. Санитарные нормы СН от 31.10.1996 п. 2.2.4/2.1.8.562-96. 2. Старжинский В.Н., Завьялов А.Ю., Сокина С.В. Теоретические положения излучения шума пильным диском при резании древесины // Современные проблемы науки и образования. – 2013. – № 3. 3. Бронштейн И.Н., Семендяев К.А. Справочник по математике для инженеров и учащихся втузов. – 13-е изд., исправленное. – М.: Наука, Гл. ред. физ.-мат. лит., 1986. – 544 с. 4. Дискретное преобразование Фурье. Учебное пособие /В.П. Кандидов и др. – Москва: физический факультет МГУ, 2019. – 88 с. 5. Основы цифровой обработки сигналов: Курс лекций. 2 изд. БХВ-Петербург, 2012 г. – 768 с.

МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ МЕЛКОСТИ РАСПЫЛИВАНИЯ ТОПЛИВ ПО ГЕОМЕТРИИ ЗОНЫ СМАЧИВАНИЯ (ПЯТНА)

Бараниченко В.В., Болдырев А.Ю., Грищенко В.И., Медведев Д.Д.,
Цымбалов Д.С., Яценко О.В.

(ДГТУ, г. Ростов-на-Дону, Россия)

Тел: +7 (989) 5243331; E-mail: willywonkazeus@gmail.ru

Abstract: A program for computer simulation of atomization of liquid fuels has been developed. A special calibrating experiment was carried out in a gravitational field. Verification of the computer model with experimental data is carried out, the correctness of simulation modeling is determined by the convergence of the results of static generalization. Tests of a model sample of the burner device were carried out, confirming the adequacy of computer simulation.

Качественное горение в горелочном устройстве (ГУ) обеспечивается в т.ч. должным распыливанием дизельного топлива и его равномерным перемешиванием с подаваемым воздухом. Показателем качества распыливания служит мелкость (средний диаметр) каплей $\langle \varnothing \rangle$. Достаточной является мелкость $\langle \varnothing \rangle$, гарантирующая испарение капли за время пребывания ее в зоне горения. Отсюда, увеличение качества распыливания добивается уменьшением среднего диаметра капли, что повышает качество горения.

Эксперименты, связанные с определением качества распыливания форсуночного устройства, зачастую, требуют крупных финансовых вложений [1]. Наиболее точным из них является метод определения мелкости распыливания с использованием современных лазерных анализаторов размера частиц распыления [2].

С целью уменьшения затрат для выявления связи между характерным диаметром распыла $\langle \varnothing \rangle$ и качеством горения топливно-воздушной смеси (ТВС) в ГУ для определения эффективных коэффициентов межфазного переноса в интегрированной имитационной модели спланирован специальный калибрующий эксперимент. Идея эксперимента состоит в сопоставлении динамики реального (холодного, без поджига) топливного факела с результатами множественной компьютерной имитации. Последняя предполагает расчет индивидуальной динамики большого числа капель распыленного жидкого топлива в гравитационном поле.

В процессе конструирования модели распыла и динамики диспергированной топливной струи в гравитационном поле подбирались некоторые параметры и соотношения [3], обеспечивающие качественное согласие результата с данными непосредственного диспергационно-гравитационного эксперимента (рис. 1).

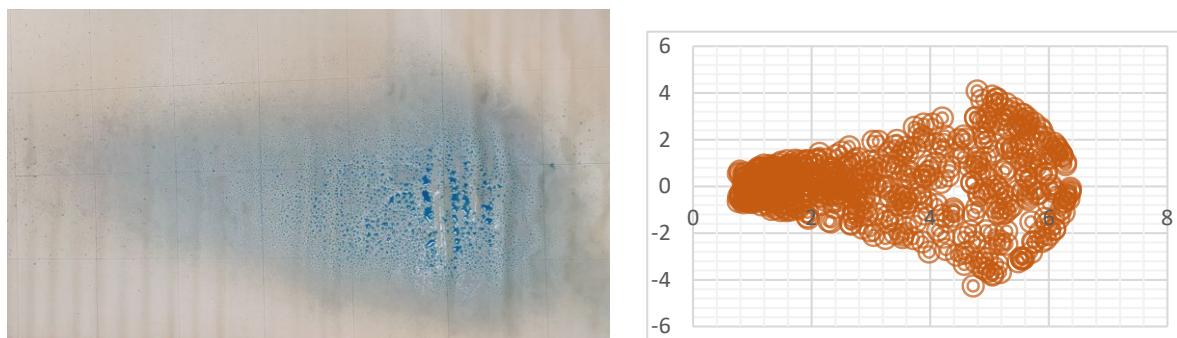


Рис. 1. Вид области осаждения (пятна) жидкости, распыленной пульверизатором с высоты 1 м в горизонтальном направлении (слева) и смоделированной на основе уравнений (справа)

Множественные результаты непосредственной компьютерной симуляции допускают статистическое обобщение. Для этого необходимо ввести новые переменные в зоне осаждения – $r = (x^2 + z^2)^{1/2}$ и $\varphi = \arctg z/x$. Затем для набора 10, 30, 100, 300, 1000, ... 100000 каплей выполняется расчет координат их падения (r, φ). Начальные параметры капли и ее траектории выбираются случайным образом в рамках принимаемых на основе данных рис. 1 ограничений.

Для диаметра вылетающей капли

$$F(\varnothing) = 1 - e^{-(\varnothing/\langle\varnothing\rangle)^n}, \quad (1)$$

где $n = 3$;

для начальных углов вылета β и γ :

$$\beta: P(\beta) = \begin{cases} 0, & \beta < -\alpha \\ \frac{1}{2\alpha}, & -\alpha \leq \beta \leq \alpha \\ 0, & \beta > \alpha \end{cases}, \quad (2)$$

$$\gamma: P(\gamma) = \begin{cases} 0, & \gamma < -\alpha \\ \frac{1}{2\alpha}, & -\alpha \leq \gamma \leq \alpha \\ 0, & \gamma > \alpha \end{cases},$$

для абсолютной (модуля) начальной скорости $|V_0|$:

$$|V_0| = \Phi(|\langle V_0 \rangle|, \beta, \gamma) \approx \Phi(|\langle V_0 \rangle|) = 10^{-1+3 \cdot \text{СЧ}(0...1)} \text{ м/с}, \quad (3)$$

где $\langle \varnothing \rangle$ – характерный диаметр капли, случайно выбираемый из диапазона $1 \div 1000$ мкм; β и γ – случайно выбираемые угловые отклонения в вертикальной и горизонтальной плоскости в диапазоне заданной конусности распыла $\div \alpha$.

Множественные результаты имитационного эксперимента обобщались при помощи соотношений:

$$\lg r = A + B \lg \varnothing + C \lg |V_0| + D \lg |\alpha|, \quad (4)$$

$$\lg \varphi = E + F \lg \varnothing + G \lg |V_0| + H \lg |\alpha|, \quad (5)$$

в которых r – расстояние от точки старта до точки падения капли в горизонтальной плоскости; φ – угловое отклонение траектории капли от вертикальной плоскости; A, B, C, D, E, F, G, H – параметры обобщенной модели динамики распыленного в воздухе ДТ.

Для определения последних использовалась последовательность 100000 имитационных экспериментов, результаты которых обрабатывались в рамках последовательно удлиняемых выборок. В рамках метода многофакторного анализа определение A, B, C, D, E, F, G, H сводится к задаче математического программирования

$$\sum [\lg r_i - (A + B \lg \varnothing_i + C \lg |V_0|_i + D \lg |\alpha|_i)]^2 \rightarrow \min, \quad (6)$$

$$\sum [\lg \varphi_i - (E + F \lg \varnothing_i + G \lg |V_0|_i + H \lg |\alpha|_i)]^2 \rightarrow \min, \quad (7)$$

где $i = 0, \dots, I$ – номер опыта и их число соответственно.

Задача (3.27)-(3.28) сводится к системе линейных уравнений:

$$\begin{pmatrix} \sum_1^n 1 & \sum_{i=1}^n \log \phi_i & \sum_{i=1}^n \log|V_0|_i & \sum_{i=1}^n \log(1 + |\alpha_i|) \\ \sum_{i=1}^n \log \phi_i & \sum_{i=1}^n (\log \phi_i)^2 & \sum_{i=1}^n \log|V_0|_i \log \phi_i & \sum_{i=1}^n \log(1 + |\alpha_i|) \log \phi_i \\ \sum_{i=1}^n \log|V_0|_i & \sum_{i=1}^n \log|V_0|_i \log \phi_i & \sum_{i=1}^n (\log|V_0|_i)^2 & \sum_{i=1}^n \log(1 + |\alpha_i|) \log|V_0|_i \\ \sum_{i=1}^n \log(1 + |\alpha_i|) & \sum_{i=1}^n \log(1 + |\alpha_i|) \log \phi_i & \sum_{i=1}^n \log(1 + |\alpha_i|) \log|V_0|_i & \sum_{i=1}^n (\log(1 + |\alpha_i|))^2 \end{pmatrix}^* \begin{pmatrix} A \\ B \\ C \\ D \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \sum_{i=1}^n \log r_i \\ \sum_{i=1}^n \log \phi_i \log r_i \\ \sum_{i=1}^n \log|V_0|_i \log r_i \\ \sum_{i=1}^n \log(1 + |\alpha_i|) \log r_i \end{pmatrix}, \quad (8)$$

$$\begin{pmatrix} \sum_1^n 1 & \sum_{i=1}^n \log \phi_i & \sum_{i=1}^n \log|V_0|_i & \sum_{i=1}^n \log(1 + |\alpha_i|) \\ \sum_{i=1}^n \log \phi_i & \sum_{i=1}^n (\log \phi_i)^2 & \sum_{i=1}^n \log|V_0|_i \log \phi_i & \sum_{i=1}^n \log(1 + |\alpha_i|) \log \phi_i \\ \sum_{i=1}^n \log|V_0|_i & \sum_{i=1}^n \log|V_0|_i \log \phi_i & \sum_{i=1}^n (\log|V_0|_i)^2 & \sum_{i=1}^n \log(1 + |\alpha_i|) \log|V_0|_i \\ \sum_{i=1}^n \log(1 + |\alpha_i|) & \sum_{i=1}^n \log(1 + |\alpha_i|) \log \phi_i & \sum_{i=1}^n \log(1 + |\alpha_i|) \log|V_0|_i & \sum_{i=1}^n (\log(1 + |\alpha_i|))^2 \end{pmatrix}^* \begin{pmatrix} E \\ F \\ G \\ H \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \sum_{i=1}^n \log(1 + |\phi_i|) \\ \sum_{i=1}^n \log \phi_i \log(1 + |\phi_i|) \\ \sum_{i=1}^n \log|V_0|_i \log(1 + |\phi_i|) \\ \sum_{i=1}^n \log(1 + |\alpha_i|) \log(1 + |\phi_i|) \end{pmatrix}. \quad (9)$$

О корректности представления данных прямой имитации посредством формул (6)-(7) позволяет судить сходимость последовательности коэффициентов $\{A, B, C, D, E, F, G, H\}_N$, в которой N – число учтенных индивидуальных траекторий (табл. 1). Другим критерием качества этих аппроксимирующих формул служит их коррелированность с исходными данными и мера относительной погрешности при различном числе «опытов» N . Соответствующие параметры качества модели (4)-(5) составляют 0.91 для коэффициента корреляции и 0.14 (или примерно 40 %) для среднеквадратичной погрешности, что означает практическую возможность надежно определять мелкость распыливания струи по плотности распределения пятна оседания.

Таблица 1

Сходимость результатов статистического обобщения (4)-(5) в зависимости от числа испытаний

<i>i</i>	10	30	100	300	1000	3000	10000
A	-1,96275	-2,04004	-2,05276	-2,12691	-2,19647	-2,17888	-2,18331
B	1,004491	1,046139	1,095796	1,010833	0,991038	1,005149	0,996117
C	0,735549	0,790535	0,737026	0,726814	0,733491	0,73876	0,737453
D	-0,15229	-0,07301	-0,01238	-0,02007	0,009375	0,004251	-0,0017
E	0,420494	0,37479	0,420839	0,319515	0,490381	0,488196	0,487328
F	-0,02118	0,101351	0,088732	-0,09801	-0,02112	-0,00794	0,00074
G	0,000417	-0,01588	-0,00802	-0,00437	-0,00219	0,000398	0,000723
H	0,652889	0,8053	0,765897	0,672637	0,609236	0,622609	0,630823

Из данных этой таблицы следует, что удаленность точки падения капли прямо пропорциональна ее диаметру, пропорциональна модулю начальной скорости в степени $\frac{3}{4}$ и не зависит от угла распыливания. В то же время среднее угловое отклонение капли от оси струи зависит лишь от начального угла конуса распыливания в степени, близкой к $\frac{2}{3}$.

Сопоставление этой модели с результатами испытаний макетного образца ГУ мощностью ~ 1 кВт показало (рис. 2), что при истечении из сопла диаметром 0.3 мм струя ДТ комнатной температуры под давлением 2 атм без распыла преодолевала расстояние

порядка 5 м. Подача перегретого пара в зону истечения нормально его направлению приводила к дроблению струи и укорочению зоны оседания. В экспериментах зафиксировано, что осевой размер зоны оседания существенно сокращался с увеличением подачи перегретого пара и его температуры в соответствии с моделью (4)-(5).



Рис. 2. Схема дополнительного парового диспергирования ДТ (справа) для эффективного распыливания в условиях предварительных испытаний макетной установки (слева – общий вид)

Вывод. Разработана программа компьютерной имитации распыливания жидких топлив. Проведен специальный калибрующий эксперимент в гравитационном поле. Выполнена верификация компьютерной модели с экспериментальными данными, корректность имитационного моделирования определяется сходимостью результатов статического обобщения. Проведены испытания макетного образца горелочного устройства подтверждающие адекватность компьютерной имитации.

Список литературы: 1. Маецкий, А. В. Обзор приборов и методов исследования качества распыливания топлива дизельной форсункой / А. В. Маецкий, А. А. Гребеньков. — Текст : непосредственный // Молодой ученый. — 2011. — № 10 (33). — Т. 1. — С. 48-54. — URL: <https://moluch.ru/archive/33/3736/> 2. Анализатор размера частиц распыления и капель распыления AEROTRAC II / Электронный ресурс / URL: <https://www.microtrac.com/ru/products/particle-size-shape-analysis/laser-diffraction/aerotrac-ii/>. 3. Ладоша, Е. Н. Информационное моделирование распыливания и испарения моторного топлива в дизельном двигателе / е. н. Ладоша, Д. С. Цымбалов, О. В. Яценко // Вестник Донского государственного технического университета. – 2012. – Т. 12, № 1-1(62). – С. 5-14.

РАСЧЕТНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ СКОРОСТИ РЕЗАНИЯ, ОБЕСПЕЧИВАЮЩЕЙ МАКСИМУМ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ ИНСТРУМЕНТА, ПРИ ОПЕРАЦИЯХ ГЛУБОКОГО СВЕРЛЕНИЯ

Баранов А.В., Баранова Л.А., Вейколайнен Е.А. (РГАТУ имени П.А. Соловьева, г. Рыбинск, Россия)

Тел.: +79108141404; E-mail: alexbar57@mail.ru

Abstract: The paper considers the issues of analytical determination of the optimal wear resistance of the tool cutting speed of steels and alloys during gun drilling of holes based on the balance equation of mechanical and thermal energies in the cutting zone in order to create CAD cutting modes for this type of blade processing.

Keywords: hole making, gun drills, energy balance in the cutting zone, optimal cutting speed, CAD cutting data

Интерес к системам глубокого сверления в машиностроении, в частности, к ружейному сверлению, будет лишь возрастать [1]. В настоящее время режимы резания для ружейных свёрл назначаются по имеющимся таблицам, при этом табличные значения эффективны лишь для тех материалов, как обрабатываемых, так и инструментальных, а также геометрии инструмента, для которых они были получены экспериментально. В этой связи даже при незначительном отклонении от этих параметров режимы могут быть весьма далеки от оптимальных. Необходимо иметь математический аппарат, позволяющий определять максимально эффективные режимы резания для очень широкого перечня обрабатываемых и инструментальных материалов, а также для различной геометрии инструмента. Требуется создать САПР режимов резания для данного метода лезвийной обработки отверстий.

На основе теоретического исследования термомеханических явлений [1, 2] можно расчётным методом выйти на определение скоростей резания v_0 , при которых в зоне резания обеспечивается оптимальная для рассматриваемой пары «инструментальный – обрабатываемый материалы» температура резания θ_0 [2, 3, 4], что позволяет обеспечивать максимальную износостойкость инструмента. Рассмотрим аналитический метод определения скорости резания v_0 при глубоком сверлении ружейным свёрлом на основе составления уравнения баланса механической и тепловой энергий для лезвия N , где находится область G – область максимального износа сверла (рис. 1).

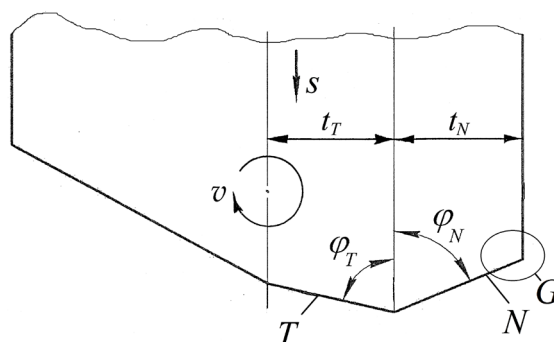


Рис. 1. Режущий элемент ружейного сверла

Расчёт количества тепла, уходящего из зоны резания в стружку

Для упрощения задачи рассмотрим условия обработки без СОТС ($Bi \cong 0$). Тепло, уходящее в стружку, определяется выражением [2]

$$Q_C = Q_{C1} + Q_{C2} + Q_{C3}, \quad (1)$$

где Q_{C1} – часть теплоты от области первичных пластических деформаций, переходящая в стружку, равная произведению секундного объема стружки, удельной объемной теплоемкости и ее осредненной по толщине температуры деформации $\bar{\theta}'_C$

$$Q_{C1} = a_{1N} b_{1N} v_{cp} \bar{\theta}'_C; \quad (2)$$

где a_{1N} и b_{1N} – толщина и ширина среза для лезвия N , м [1]; v – скорость резания, м/с; cp – удельная объемная теплоёмкость материала, Дж/(м³·К);

Q_{C2} – теплота, перешедшая в стружку за счет действия источника тепла постоянной интенсивности на длине пластического контакта l_0 передней поверхности режущего элемента (РЭ) [5], Вт;

Q_{C3} – теплота, перешедшая в стружку за счет действия источника тепла переменной интенсивности на участке упругого контакта $(l - l_0)$ передней поверхности РЭ, Вт.

При рассмотрении температурных полей (ТП) в зоне резания [2, 5] было получено упрощенное уравнение, описывающее изменение температуры по толщине стружки a_0

$$\theta'_C = \theta_A \left(1 - \frac{x}{a_0}\right)^{0,85}, \quad (3)$$

ось X при этом совпадает с направлением движения стружки.

С учетом выражения для $\bar{\theta}'_C$ формула для Q_{C1} примет вид

$$Q_{C1} = 0,54 \lambda b_{1N} \text{Re} \theta_A. \quad (4)$$

где $\text{Re} = v \cdot a_{1N} / a$ – безразмерный комплекс; $a = \lambda / (cp)$ – коэффициент температуропроводности обрабатываемого материала, м²/с; λ – коэффициент теплопроводности обрабатываемого материала, Вт/(м·К).

Выражения для расчета Q_{C2} и Q_{C3} будут иметь вид

$$Q_{C2} = q_C l_0 b_{1N}; \quad (5)$$

$$Q_{C3} = \bar{q}_C (l - l_0) b_{1N}, \quad (6)$$

где q_C – постоянная интенсивность тепловыделения на участке l_0 ($q_C = \text{Const}$ [3] на участке l_0); \bar{q}_C – осредненная интенсивность тепловыделения на участке $(l - l_0)$ (в зоне

упругого контакта интенсивность убывает по закону третьей степени [3] $q = q_C \left(\frac{l_0}{x}\right)^3$

$$\bar{q}_C = \frac{q_C l_0^3}{l - l_0} \int_{l_0}^l \frac{dx}{x^3} = 0,5 q_C \left(1 + \frac{l_0}{l}\right) \frac{l_0}{l}. \quad (7)$$

Выражая интенсивность q_C через максимальную температуру трения на передней поверхности зуба θ'_M с помощью выражений и далее θ_A через температуру резания, записываются развернутые выражения для Q_C .

С целью расчета количеств теплоты, поступающих в стружку, деталь и зуб инструмента, был поставлен полный факторный вычислительный эксперимент, переменными факторами в котором являлись характеристики режимов резания, геометрические характеристики инструмента, теплофизические и механические свойства инструментального и обрабатываемого материалов. В то же время при обработке результатов данного эксперимента находились зависимости тепловых потоков не от принятых переменных факторов, а от безразмерных комплексов. Этот подход позволяет учесть все многообразие возможных случаев ружейного сверления.

Используя данный метод для определения количества тепла, уходящего в стружку

ку, получаем следующее выражение (через температуру резания θ):

$$Q_c = \frac{0,545 \lambda b_{1N} \theta P e^{0,76} D^{0,03} \Pi^{0,02} \sin^{0,03} \alpha}{B^{0,27} E^{0,07} T^{0,07} (1 + \delta_u / \rho_1)^{0,04} (1 - \sin \gamma)^{0,15}}, \quad (8)$$

где $D = \frac{a_{1N}}{b_{1N}}$; $\Pi = \frac{a_{1N}}{2\pi d}$; $T = \frac{t_N}{t_T}$; $E = \frac{\rho_1}{a_{1N}}$; $B = \operatorname{tg} \beta_1$ – безразмерные комплексы; d – диаметр отверстия, м; t_N и t_T – соответственно, глубины резания для лезвий N и T (рис. 1); δ_u – величина износа лезвия N режущего элемента инструмента по задней поверхности, м; γ и α – значения переднего и заднего углов лезвия N режущего элемента ружейного сверла, рад; β_1 – угол наклона условной плоскости сдвига [1], рад.; ρ_1 – радиус округления режущей кромки N , м (рис.1).

Расчет количества тепла, уходящего из зоны резания в деталь

Тепло, идущее из зоны резания РЭ в деталь, определяется выражением

$$Q_d = Q_{d1} + Q_{d2}, \quad (9)$$

где Q_{d1} – часть теплоты из зоны первичных пластических деформаций, переходящая в деталь, Вт; Q_{d2} – теплота трения и пластических деформаций, переходящая в деталь с задней контактной площадки РЭ, Вт.

После ряда математических преобразований для Q_d можно записать

$$Q_d = \frac{0,742 \lambda b_{1N} \theta P e^{0,19} B^{0,14} E^{0,21} F^{0,07} D^{0,06} \Pi^{0,03} (1 - \sin \gamma)^{0,25} (1 + \delta_u / \rho_1)^{0,14}}{\sin^{0,07} \alpha}. \quad (10)$$

где $F = \frac{\lambda_p}{\lambda} \beta \varepsilon$ – безразмерный комплекс; λ_p – коэффициент теплопроводности инструментального материала, Вт/(м·К); $\beta = (\pi/2) - \alpha - \gamma$ – угол заострения РЭ, рад; $\varepsilon = \pi - \varphi_N$ – угол при вершине РЭ в плане (со стороны лезвия N), рад.

Определение количества тепла, уходящего в РЭ ружейного сверла

Теплота, уходящая в РЭ ружейного сверла, определяется выражением

$$Q_3 = Q_{31} + Q_{32}, \quad (11)$$

где Q_{31} и Q_{32} – соответственно теплота, поступающая в РЭ ружейного сверла через контактные площадки на его передней и задней гранях, Вт.

Величина Q_{31} может быть определена выражением

$$Q_{31} = \bar{q}_n \cdot b_{1N} \cdot l, \quad (12)$$

где \bar{q}_n – осредненная интенсивность тепловыделения на передней поверхности РЭ, Вт/м².

Через температуру резания в критериальной форме было получено выражение

$$Q_n = \frac{0,67 \lambda b_{1N} \theta F^{1,01} D^{0,36} E^{0,03} \Pi^{0,02} \sin^{0,03} \alpha (1 + \delta_u / \rho_1)^{0,02}}{B^{0,6} (1 - \sin \gamma)^{0,32}}. \quad (13)$$

Уравнение баланса механической и тепловой энергий

С учетом того, что практически вся механическая энергия при резании превращается в тепловую, уравнение баланса механической и тепловой энергий запишется в виде

$$P_z v_c = Q = Q_c + Q_d + Q_3 + Q_{oc}, \quad (14)$$

где v_c – средняя на рассматриваемой глубине резания РЭ для лезвия N скорость, м/с; Q_{oc} – количество тепла, уходящие из зоны резания в окружающую среду от РЭ ружейного сверла.

Если в выражение (14) подставить соответствующие формулы для Q_c , Q_d и Q_3 , то получим уравнение баланса в развернутом виде (без учета охлаждения, т.е. при $Bi \cong 0$),

$$P_z v = \lambda b_{1N} \theta \left\{ \frac{0,545 Pe^{0,76} D^{0,03} \Pi^{0,02} \sin^{0,03} \alpha}{E^{0,07} T^{0,07} (1 + \delta_u / \rho_1)^{0,04} B^{0,27} (1 - \sin \gamma)^{0,15}} + \right. \\ \left. + \frac{0,742 Pe^{0,19} D^{0,06} F^{0,07} \Pi^{0,03} E^{0,21} (1 + \delta_u / \rho_1)^{0,14} B^{0,14}}{\sin^{0,07} \alpha (1 - \sin \gamma)^{-0,25}} + \right. \\ \left. + \frac{0,67 F^{1,01} D^{0,36} \Pi^{0,02} E^{0,03} (1 + \delta_u / \rho_1)^{0,02} \sin^{0,03} \alpha}{B^{0,6} (1 - \sin \gamma)^{0,32}} \right\}. \quad (15)$$

Параметр B входит практически во все члены (кроме Pe) правой части выражения (15). Данное уравнение может быть решено путем постановки полного факторного вычислительного эксперимента с учетом специфики ружейного сверления.

В результате получаем следующее упрощенное для практических расчетов выражение (погрешность, возникающая при упрощении не превышает 5%) для определения параметра B (для конструкционных и жаропрочных сталей и сплавов)

$$B = \frac{0,856 Pe^{0,22} D^{0,185}}{F^{0,22} E^{0,09} (1 - \sin \gamma)^{0,67}}. \quad (16)$$

С помощью уравнения (15) были выполнены расчеты баланса тепла при сверлении сталей и сплавов различными сверлами. Картина распределения тепла для нержавеющей стали 12X15Г9НД представлена на рис. 2.

Анализ данных графиков и выражения (15) позволяет сделать следующие выводы:
 – с ростом критерия Pe наблюдается рост Q_c , Q_d и Q_3 ;
 – рост критерия Pe обуславливает уменьшение относительных значений Q_d/Q и Q_n/Q и увеличение Q_c/Q , то есть с ростом Pe бо́льшая доля энергии выносится из зоны резания со стружкой.

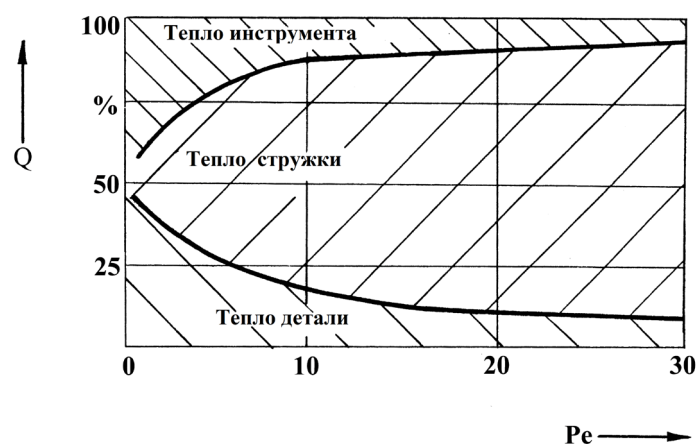


Рис. 2. Баланс тепла при сверлении нержавеющей стали 12X15Г9НД ружейным сверлом из ВК6-М

Получение уравнения обрабатываемости для оптимального по износостойкости инструмента резания

После некоторых преобразований получаем из выражения (15) следующую зависимость для расчета режимов резания

$$Pe = \frac{0,615(c_p \theta / \tau_p)^{1,65} (b_{1T}/b_{1N})^{0,17} F^{0,32} D^{0,4} \sin^{0,15} \alpha}{E^{0,12} \Pi^{0,08} T^{0,07} (1 + \delta_u / \rho_1)^{0,14} (1 - \sin \gamma)^{0,67}}, \quad (17)$$

Использование принципа постоянства оптимальной температуры резания θ_0 позволило получить на основе уравнения (17) единое выражение для оптимальной по износостойкости инструмента скорости резания v_0 при ружейном сверлении, которое можно записать в виде

$$v_0 = \frac{a}{a_{1N}} \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot k_{\text{СОТС}} \cdot k_{\text{инп}}, \quad (18)$$

где k_1 , k_2 , k_3 – функциональные аналитические коэффициенты, учитывающие, соответственно, влияние механических и теплофизических свойств обрабатываемого и инструментального материалов, геометрических параметров сечения среза и инструмента, допустимого износа инструмента за период стойкости, а также глубину отверстия, L , м; $k_{\text{СОТС}}$ и $k_{\text{инп}}$ – обобщенные таблично-статистические коэффициенты, учитывающие влияние СОТС и износостойких инструментальных покрытий (в случае отсутствия таких данных может быть использована экспресс-методика по их определению, рассмотренная в работе [2]).

$$k_1 = \left(\frac{\lambda_p}{\lambda} \right)^{0,32} \left(\frac{c_p \theta_0}{\tau_p} \right)^{1,65};$$

$$k_2 = \frac{0,615 (b_{1T}/b_{1N})^{0,17} (a_{1N}/b_{1N})^{0,4} (b/b_1)^{0,07} \sin^{0,1} \alpha (\beta \varepsilon)^{0,32}}{(t_N/t_T)^{0,07} (\rho_1/a_{1N})^{0,12} (a_{1N} z / \pi d)^{0,08} (1 - \sin \gamma)^{0,67}};$$

$$k_3 = 0,65 \frac{(1 + d/L)^{1,51}}{(1 + \delta_n / \rho_1)^{0,14}}.$$

Полученное выражение (18) учитывает влияние механических и теплофизических свойств обрабатываемого и инструментального материалов, величину подачи и диаметр отверстия, геометрические параметры инструмента и сечения среза, допустимый износ РЭ за период стойкости. Существенным преимуществом полученного выражения является его общность для широкого диапазона режимных факторов. Появляется возможность научно обоснованно назначать режимы резания уже на этапе проектирования операции ружейного сверления, также было установлено, что данный математический аппарат удовлетворительно описывает и систему глубокого сверления ВТА [6].

Список литературы: 1. Баранов А.В., Карачев А. В., Бахриев Ф.А., Воронцов А.А. К вопросу расчетного определения скоростей резания сталей и сплавов при ружейном сверлении отверстий на основе исследования термомеханических явлений // МАШИНОСТРОЕНИЕ И ТЕХНОСФЕРА XXI ВЕКА / Сборник трудов XXIX Международной НТК. Севастополь 12-18 сентября 2022 г. – Донецк: ДНТУ, 2022. – с. 24 - 27. 2. Баранов А.В. Оптимизация процессов лезвийной обработки отверстий. Рыбинск: РГАТА. 2005. 124 с. 3. Силин С.С. Метод подобия при резании материалов. М.: Машиностроение, 1979. 152 с. 4. Резников А.Н. Теплофизика процессов механической обработки. М.: Машиностроение, 1981. 279 с. 5. Карачев А.В., Баранов А.В. Картина температурных полей на задней и передней контактных площадках режущего элемента ружейного сверла // Вестник РГАТУ имени П.А. Соловьёва. – Рыбинск: РГАТУ, 2021 - № 4 (59) – с. 81 – 90. 6. Баранов А.В., Карачев А.В. Определение технологической наследственности при обработке отверстий в деталях газотурбинных двигателей // Вестник машиностроения. 2021. № 11. С. 37–42.

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОЦЕССА РЕЗАНИЯ ПРИ ОПЕРАЦИЯХ ГЛУБОКОГО СВЕРЛЕНИЯ

Баранов А.В., Баранова Л.А., Вейколайнен Е.А. РГАТУ имени П.А. Соловьева,
г. Рыбинск, Россия)

Тел.: +79108141404; E-mail: alexbar57@mail.ru

Abstract: The issues of analytical determination of the optimal cutting speed according to various criteria in relation to gun drilling of holes are considered: minimum cost and maximum productivity in order to create CAD cutting modes for this type of blade processing.

Keywords: holemaking, gundrills, minimum cost speed, maximum productivity speed, CAD cutting data

Ружейные свёрла находят всё большее применение в машиностроении, прежде всего для обработки деталей с большим числом отверстий [1]. В то же время при их эксплуатации возникает сложность, связанная с назначением наиболее эффективных режимов резания, поскольку справочные значения лишь весьма приблизительны. Оптимизация операций механической обработки связана с определением такого режима работы станочного оборудования, который научно обоснованно гарантирует получение готовой детали требуемого качества при минимальной стоимости.

Известно три основных экономических критерия оптимальности процессов резания:

– резание с оптимальными температурами θ_0 [2] в зоне резания, когда функцией оптимизации является размерная стойкость инструмента T (или интенсивность его изнашивания), а критерием оптимальности – максимальное значение размерной стойкости T_0 . Определяемыми параметрами обрабатываемости при этом являются стойкость T_0 и соответствующая ей оптимальная скорость резания v_0 ;

– экономическое резание, когда функцией оптимизации является себестоимость обработки, а критерием оптимальности – ее минимум. Определяемыми параметрами обрабатываемости в этом случае являются экономическая размерная стойкость инструмента T_3 и соответствующая ей скорость v_3 ;

– резание максимальной производительности, когда функцией оптимизации является производительность обработки (штучное время), а критерием оптимальности – минимальное значение штучного времени. Определяемыми параметрами обрабатываемости при этом являются размерная стойкость инструмента T_n и скорость резания v_n , обеспечивающие минимум штучного времени (максимум производительности).

При научно обоснованном нормировании операций каждый из выше перечисленных критериев оптимизации применяется при условии гарантированного обеспечения критерия качества, определяющего выпуск деталей в соответствии с требованиями рабочего чертежа.

Установим связь между параметрами v_0 , v_3 , v_n , T_0 , T_3 и T_n применительно к ружейному сверлению.

При сверлении с оптимальной скоростью резания v_0 обеспечивается оптимальный относительный линейный износ $h_{\text{оло}}$ режущего элемента (РЭ). Экспериментальными исследованиями оптимального резания для осевого лезвийного инструмента [2] была установлена взаимосвязь минимального относительного линейного износа $h_{\text{оло}}$ с параметрами процесса резания, которая нашла подтверждение и для ружейных свёрл

$$h_{\text{оло}} = \frac{M_0 c_p \theta_0}{\sigma_u (1 + 5\delta)} \left(\frac{\tau_p}{\tau_{px}} \right)^3 \left(\frac{v'_0}{v_0} \right)^{1,5} \left(\frac{s}{s'} \right)^{0,3} \left(\frac{t_N}{s} \right)^{0,4} \left(\frac{L_B}{d} \right)^{0,12}, \quad (1)$$

где M_0 – безразмерный коэффициент, зависящий от группы обрабатываемости материала, а также от вида инструментального материала (таблица 1); τ_p – сопротивление обрабатываемого материала пластическому сдвигу, Па; τ_{px} – сопротивление эталонного материала (для каждой группы обрабатываемости) пластическому сдвигу, Па (таблица 1); δ – относительное удлинение обрабатываемого материала; v'_0 – оптимальная скорость резания, соответствующая подаче $s'=1\text{мм/об}$, м/с; σ_u – прочность инструментального материала на сжатие с учетом влияния температуры, Па; t_N – глубина резания лезвием N (рис. 1) режущего элемента, м; c_p – удельная объемная теплоемкость обрабатываемого материала, Дж/(м³·К); d – диаметр отверстия, м; L_B – вылет инструмента, м.

Таблица 1

Значения параметров M_0 и τ_{px}

Обрабатываемый материал, № группы	Инструментальный материал	M_0	τ_{px} , Па
Углеродистые стали, материалы I группы	твердый сплав	$0,2 \cdot 10^{-8}$	$770 \cdot 10^6$
II, III, IV	твердый сплав	$2,19 \cdot 10^{-8}$	$900 \cdot 10^6$
V	твердый сплав	$6,57 \cdot 10^{-8}$	$1300 \cdot 10^6$
VI	твердый сплав	$27,40 \cdot 10^{-8}$	$1520 \cdot 10^6$
VII	твердый сплав	$6,57 \cdot 10^{-8}$	$682 \cdot 10^6$

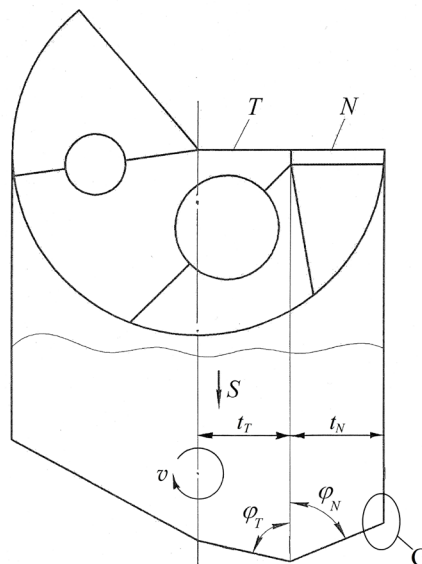


Рис. 1. Режущий элемент ружейного сверла

В работе [2] была показана связь между скоростью резания и различными технологическими параметрами, определяющими процесс резания при обработке отверстий. Как показали исследования, аналогичные зависимости могут быть получены и для ружейного сверления. Путём специального анализа [3] уравнение баланса механической и тепловой энергии в зоне резания приводится к виду

$$Pe = \frac{1,508A^{1,54}F^{0,66}D^{0,26}\sin^{0,02}\alpha}{E^{0,02}B^{0,67}\Pi^{0,08}(1+\delta_u/\rho_1)^{0,02}(1-\sin\gamma)^{0,23}} \quad (2)$$

где $A = a_1 b_1 c \rho \theta / P_z$ – энергетический критерий, характеризующий собой соотношение между количеством тепла, уходящим из зоны резания со стружкой, условно нагретой до температуры резания θ ($a_1 b_1 c \rho \theta v$, Вт) и общей выделившейся теплотой ($v \cdot P_z$, Вт); a_{1N} и b_{1N} – соответственно, толщина и ширина среза для лезвия N (рис. 1) [1], м; P_z – тангенциальная составляющая силы резания для лезвия N , Н; $F = \lambda_p \beta \varepsilon / \lambda$, $D = a_{1N} / b_{1N}$, $E = \rho_1 / a_{1N}$; $B = \operatorname{tg} \beta_1$; $\Pi = a_{1N} / 2\pi d$ – безразмерные комплексы; λ и λ_p – соответственно, коэффициенты теплопроводности обрабатываемого и инструментального материалов, Вт/(м·К); $\beta = (\pi/2) - \alpha - \gamma$ – угол заострения РЭ, рад; $\varepsilon = \pi - \varphi_N$ – угол при вершине РЭ в плане (со стороны лезвия N), рад; α, γ – соответственно, главный задний и главный передний углы режущего лезвия (лезвие N РЭ), рад; β_1 – тангенс угла наклона условной плоскости сдвига, рад; δ_u – величина износа по задней контактной площадке режущего лезвия, м; ρ_1 – радиус округления режущей кромки, м.

Подставим полученное в работе [2] выражение для B

$$B = \frac{0,856Pe^{0,22}D^{0,185}}{F^{0,22}E^{0,09}(1-\sin\gamma)^{0,67}} \quad (3)$$

После ряда преобразований имеем

$$\left(\frac{Pe}{Pe_0}\right)^{0,74} = \frac{A}{A_0} \quad (4)$$

где $Pe = va_{1N}/a$ – безразмерный комплекс; $a = \lambda/(c\rho)$ – коэффициент температуропроводности обрабатываемого материала, м²/с; λ – коэффициент теплопроводности обрабатываемого материала, Вт/(м·К)

или

$$\left(\frac{v}{v_0}\right)^{0,74} = \frac{A}{A_0}, \quad (5)$$

где $A_0 = a_1 b_1 c \rho \theta_0 / P_{z0}$ – энергетический критерий для оптимального (θ_0, P_{z0}, v_0) резания.

Выражение для размерной стойкости инструмента T имеет вид

$$T = \frac{h_p}{v \cdot h_{ол}}, \quad (6)$$

где h_p – допустимый радиальный износ РЭ ружейного сверла (область G (рис. 1 и рис. 2), м; $h_{ол}$ – текущий относительный линейный износ РЭ.

Для текущего значения относительного линейного износа методами теории подобия [2, 3] для скоростей $v \geq v_0$ было получено выражение, которое, как показала практика, справедливо и для ружейного сверления

$$h_{ол} = h_{оло} \left(\frac{A}{A_0}\right)^{n_u}, \quad (7)$$

где n_u определяется выражением

$$n_u = 2,19 \frac{(\theta_{и}/\theta)^{0,25}}{B^{1,4}} \quad \text{при} \quad v \geq v_0;$$

$\theta_{и}$ – характерная температура для твердого сплава $\theta_{и} = 1490$ °С.

С учётом (5) выражение (7) можно представить в виде [4]

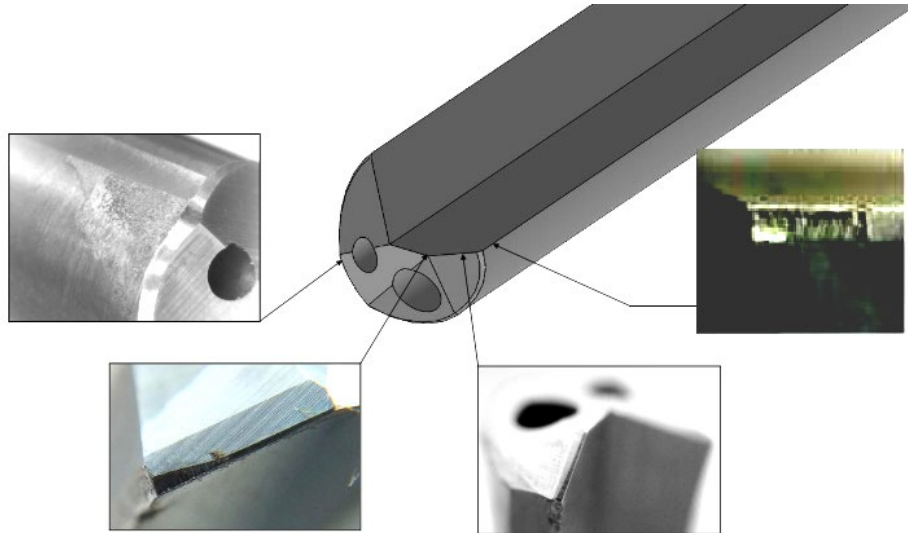


Рис. 2. Износ ружейного сверла

$$h_{\text{ол}} = h_{\text{оло}} \cdot \left(\frac{v}{v_0} \right)^{0,74 n_u} \quad (8)$$

Выражение для расчета стойкости инструмента T определяется следующим образом

$$h_{\text{оло}} = \frac{h_{\text{р}}}{L_0} = \frac{h_{\text{р}}}{(v_0 T_0)}, \quad (9)$$

где L_0 – путь резания при скорости v_0 и стойкости T_0 , м.

Подставляя в выражение (6) вместо $h_{\text{ол}}$ его значение из зависимости (8), имеем

$$T = T_0 \cdot \left(\frac{v_0}{v} \right)^{0,74 n_u + 1} \quad (10)$$

Введём обозначение $m_0 = 0,74 n_u + 1$.

В этом случае

$$T = T_0 \cdot \left(\frac{v_0}{v} \right)^{m_0} \quad (11)$$

Под производительностью обработки следует понимать объём металла, снятый с заготовки в единицу времени, то есть

$$П = vst, \text{ м}^3/\text{мин}, \quad (12)$$

где $t = (t_{\Gamma} + t_{\text{N}})$ – глубина резания (рис. 1), м; s – оборотная подача сверла, м; v – скорость резания, м/мин.

Для производительности при оптимальном резании (θ_0, v_0) будем иметь

$$П_0 = v_0 s t. \quad (13)$$

Выражение (11) для текущей стойкости через производительности $П_0$ и $П$ примет вид

$$T = T_0 \cdot \left(\frac{П_0}{П} \right)^{m_0} \quad (14)$$

С учетом выражений (12) и (13) зависимость между скоростями v_s и v_0 принимает вид

$$v_3 = v_0 \left[\frac{T_0}{0,74n_u \left(T_{см} + \frac{s_1}{E_c} \right)} \right]^{\frac{1}{m_0}}, \quad (15)$$

где $T_{см}$ – время на смену затупившегося инструмента и его подналадку за период стойкости, мин;

$$E_c = a_{раб} + a_{ст}, \text{ руб/мин}; \quad (16)$$

$a_{раб}$ – минимальная заработная плата рабочего с начислениями, руб/мин; $a_{ст}$ – затраты, связанные с эксплуатацией станка в течение 1 мин его работы, руб/мин; s_1 – стоимость эксплуатации инструмента за период его стойкости, руб.

Экономическая стойкость T_3 определится подстановкой Π_3 в формулу (14).

$$T_3 = T_0 \left(\frac{\Pi_0}{\Pi_3} \right)^{m_0} = T_0 \left(\frac{v_0}{v_3} \right)^{m_0},$$

то есть

$$T_3 = T_0 \cdot \left(\frac{v_0}{v_3} \right)^{m_0}. \quad (17)$$

Зависимость между скоростями $v_{п}$ и v_0 примет вид

$$v_{п} = v_0 \left[\frac{T_0}{0,74n_u T_{см}} \right]^{\frac{1}{1+0,74n_u}}. \quad (18)$$

Стойкость при максимальной производительности $T_{п}$ определится выражением

$$T_{п} = T_0 \left(\frac{v_0}{v_{п}} \right)^{1+0,74n_u}. \quad (19)$$

Таким образом, разница между $v_{п}$, v_3 , $T_{п}$ и T_3 (15, 17, 18, 19) определяется значением отношения экономических характеристик s_1/E_c . Установление связи изнашивания инструмента с энергетическим критерием А позволило получить выражения для расчетного определения экономических скоростей резания и соответствующих им размерных стойкостей инструментов. Расчётное определение скоростей v_0 , v_3 , $v_{п}$ и соответствующих им стойкостей позволяет решать задачи создания САПР режимов резания для операций сверления высокоточных глубоких отверстий, а также изучать технологическую наследственность при обработке отверстий [5].

Список литературы: 1. Баранов А.В., Карачев А. В., Бахриев Ф.А., Воронцов А.А. К вопросу расчетного определения скоростей резания сталей и сплавов при ружейном сверлении отверстий на основе исследования термомеханических явлений // МАШИНОСТРОЕНИЕ И ТЕХНОСФЕРА XXI ВЕКА / Сборник трудов XXIX Международной НТК. Севастополь 12-18 сентября 2022 г. – Донецк: ДНТУ, 2022. – с. 24 - 27. 2. Баранов А.В. Оптимизация процессов лезвийной обработки отверстий. Рыбинск: РГАТА. 2005. 124 с. 3. Силин С.С. Метод подобия при резании материалов. М.: Машиностроение, 1979. 152 с. 4. Баранов А.В. Расчет стойкости осевого лезвийного инструмента // СТИН. 2001, № 3.С. 25–27. 5. Баранов А.В., Карачев А.В. Определение технологической наследственности при обработке отверстий в деталях газотурбинных двигателей // Вестник машиностроения. 2021. № 11. С. 37–42.

ВАЛКОВОЕ УСТРОЙСТВО С УПРАВЛЯЕМОЙ ОБРАБОТКОЙ МАТЕРИАЛА

Бахадиров Г. А., Цой Г. Н., Набиев А. М. (Институт механики и сейсмостойкости сооружений Академии наук Республики Узбекистан, г. Ташкент, Узбекистан)

Тел./Факс: (+99871) 262-71-52; E-mail: instmech@rambler.ru

Abstract: *The paper provides a description and principle of operation of a roller device with a controlled technological process of mechanical treatment of fibrous material. The use of this device makes it possible to significantly minimize the time and the need for manual labor in conducting various technological operations for the processing of moisture-saturated fibrous materials.*

Key words: *working rolls; fibrous material; conveyor; machining; residual moisture content*

1. Введение

В любом производстве, время и сырьевые ресурсы – одни из важных ключевых факторов.

Устройство автоматической подачи волокнистого материала — это дополнительный компонент механизма привода валковой технологической машины вертикального типа, который позволяет осуществлять и совершенствовать дальнейшую автоматизацию процесса механической обработки.

С целью совершенствования разработанной авторами данной работы конструкции и механизма подачи валковой машины [1], а также для сокращения времени и трудозатрат на проведение технологических операций механической обработки волокнистого материала, для повышения эффективности, увеличения технологических и функциональных возможностей валковой машины предлагается новое устройство автоматической подачи листового материала в зону обработки в вертикальном направлении.

Разработано валковое устройство для механической обработки волокнистого материала, например, удаления избыточной влаги из влагонасыщенного волокнистого материала. Эффективность от использования валкового устройства, получается, от обеспечения механической обработки постоянных и переменных толщин обрабатываемых волокнистых материалов, с обеспечением требуемой скорости обработки волокнистого материала, в зависимости от его изменения толщины. Так, чем меньше толщина волокнистого материала, тем больше скорость обработки. И соответственно, повышается его скорость подачи.

Также, чем больше толщина волокнистого материала, тем меньше скорость его обработки.

Это позволяет более качественно обрабатывать волокнистые материалы, за счет возможности регулирования скорости механической обработки в зависимости от поступающей толщины волокнистого материала. Также повышается качество обработки за счет обеспечения синхронности вращения рабочих валов, снижения износа покрытий рабочих валов, повышается производительность валкового устройства.

Нами разработана новая конструкция валковой машины для механической обработки мокрых волокнистых материалов, которая обеспечивает равномерность отжима влаги из волокнистого материала, например кожевенного полуфабриката, за

счет механизма привода рабочих органов и специальной конструкции опорной плиты. Предлагается механизм автоматического съема волокнистого материала с опорных плит после его отжима влаги.

На производстве кож используются множество технологических машин для их обработки давлением рабочих органов. Также существуют конструкции валковых машин с использованием подающих опорных плит, на которых размещают кожи в перегиб и перемещаются в вертикальном направлении в зону обработки валковыми парами и совершают ту или иную технологическую операцию, результаты которой отражаются на качестве выполнения последующей [2]. Качество технологической операции после отжима мокрых кожевенных полуфабрикатов непосредственно влияет на такие технологические операции как, строгание, двоение и др. С учетом выявленных недостатков валковых машин, а именно достаточное копирование кожевенного полуфабриката на месте перегиба в носовой части опорной плиты, вызывает неравномерность содержания остаточной влаги на всех участках кожевенного полуфабриката по топографии после его отжима [3].

2. Основное содержание и результаты работы

С учетом вышеперечисленных недостатков и для их устранения нами разработана валковое устройство для механической обработки волокнистых материалов, которая устраняет указанные недостатки в конструкции аналогичных технологических валковых машин.

Эффективность разработанного валкового устройства достигается следующим образом:

- за счет установки параллельно двух пар горизонтально рабочих отжимных валов с разными диаметрами на подшипниках в станину для механической обработки волокнистых материалов, причем диаметры отжимных рабочих валов слева от вертикальной машины оси то есть нижний отжимной рабочий вал диаметром меньше чем верхний отжимной рабочий вал, а справа наоборот нижний отжимной рабочий вал диаметром больше чем верхний отжимной рабочий вал;

- за счет установки параллельно двух горизонтально рабочих валов на подшипниках верхнего пару рабочих валов на подшипниках в станину под двух рабочих валов обработки;

- посредством применения двух цепных транспортеров на шести звездочек на подшипниках на неподвижной оси на станине машины по углам вертикально расположенного треугольника;

- применением опорного транспортера на осях двух цепных транспортеров;

- установкой двух цепных передач между нижним отжимным рабочим валом отжима и верхним отжимным рабочим валом отжима волокнистых материалов;

- установкой двух цепных передач между верхним рабочим отжимным валом отжима и нижним рабочим валом отжима волокнистых материалов;

- установкой двух вертикальных, параллельных направляющих на станину;

- установкой в нижней части машины с двух боков в зоне съема установлены две зубчатых реек, которые контактируются с шестернями, установленные по концам нижнего вала опорного транспортера при их движении верх и вниз.

На рисунке показан общий вид предлагаемой валковой машины с боку. Валковая машина для механической обработки мокрых волокнистых материалов содержит опорную плиту 1 с валиком 2 и с двух сторон звездочки 3. Валковая машина состоит из двух пар горизонтально рабочих органов 4, 5 и 6, 7 установленных одна над

другой. На валиках 4 и 7 рабочие органы с диаметром D_1 , а на рабочие органы 5, 6 установлены с диаметром D_2 , которые меньше D_1 . На рисунке показана звездочка 3 не на переднем плане, а заднем плане [4].

На торцах рабочих органов 4 и 7 установлены звездочки 8, 9 с диаметром D , которые больше диаметра D_1 , при этом они контактируются с транспортирующими цепями 10. На концах рабочих органов 4, 5 и 6, 7 с одной стороны установлены звездочки 11, 12 и 13, 14 с одинаковыми диаметрами d_3 .

Звездочки 11 и 12 огибает приводная цепь 15, а звездочки 13 и 14 огибает цепь 16. Рабочие органы 4 и 7 установлены на станину 17 на подшипниках линейно неподвижно. А рабочие органы 5, 6 установлены на станину 17 горизонтально подвижно на опорах. Под нижней парой рабочих органов 6, 7 установлены две звездочки 18, которые контактируются с двумя параллельными транспортирующими цепями 10.

Аналогично над верхней парой рабочих органов 4, 5 установлены две звездочки 19, которые контактируются с двумя параллельными транспортирующими цепями 10. Звездочки 8, 9 имеют диаметры D , диаметры рабочих органов 4, 7 равны D_1 , диаметры рабочих органов 5, 6 равны D_2 , диаметры звездочек 11, 12, 13, 14 равны d_3 и выполняются в следующем соотношении диаметров $D > D_1 > D_2 > d_3$. Соотношение скоростей привода валковой машины будет $V = V_D > V_{D_1} > V_{D_2} > V_{d_3}$; $V_{D_1} = V \frac{D_1}{D}$; $V_{D_2} = V \frac{D_2}{D}$;

$$V_{d_3} = V \frac{d_3}{D}.$$

Для натяжения двух параллельных транспортирующих цепей 10 установлены два натяжных устройств, состоящие из двух роликов 20, упругих элементов 21, штоков с поршнями 22 и вилок поршней 23. На станину 17 в зоне нисходящих ветвях транспортирующих цепей 10 установлены две зубчатые рейки 24, контактирующие со звездочками 3 на торцах валика 2. Под зубчатой рейкой 24 установлен на станине 17 разгрузочный транспортер, состоящий из валиков 25, 26 и ленты 27. На валик 2 и опорную плиту 1 устанавливается обрабатываемый волокнистый материал 28. Электродвигатель установлен к звездочкам 18, которые закреплены на концах валика 29 (на рисунке не показан).

Валковая машина для механической обработки мокрых волокнистых материалов работает следующим образом. На валик 2 и опорную плиту 1 впереди навешивают волокнистый материал 28, предпочтительно кожевенный полуфабрикат 28. При включении электродвигателя звездочки 19 тянут транспортирующие цепи 10 вертикально вверх вместе с опорной плитой 1 волокнистым материалом 28.

Нижний валик 7 вращается посредством контакта звездочки 8 с транспортирующими цепями 10. Далее звездочка 11 в контакте с приводной цепью 15 вращает звездочку 12 вместе с рабочим органом 6. Когда опорная плита 1 с волокнистым материалом 28 попадает в контакт с рабочими органами 6, 7, то происходит следующее, так как диаметр рабочего органа 7 D_1 больше диаметра D_2 рабочего органа 6, а угловая скорость вращения одинаковая и равна ω , то линейная скорость V_{D_1} перемещения рабочего органа 7 больше линейной скорости V_{D_2} перемещения рабочего вала 6. При этом волокнистый материал 28 со стороны рабочего органа 6 будет немного отставать.

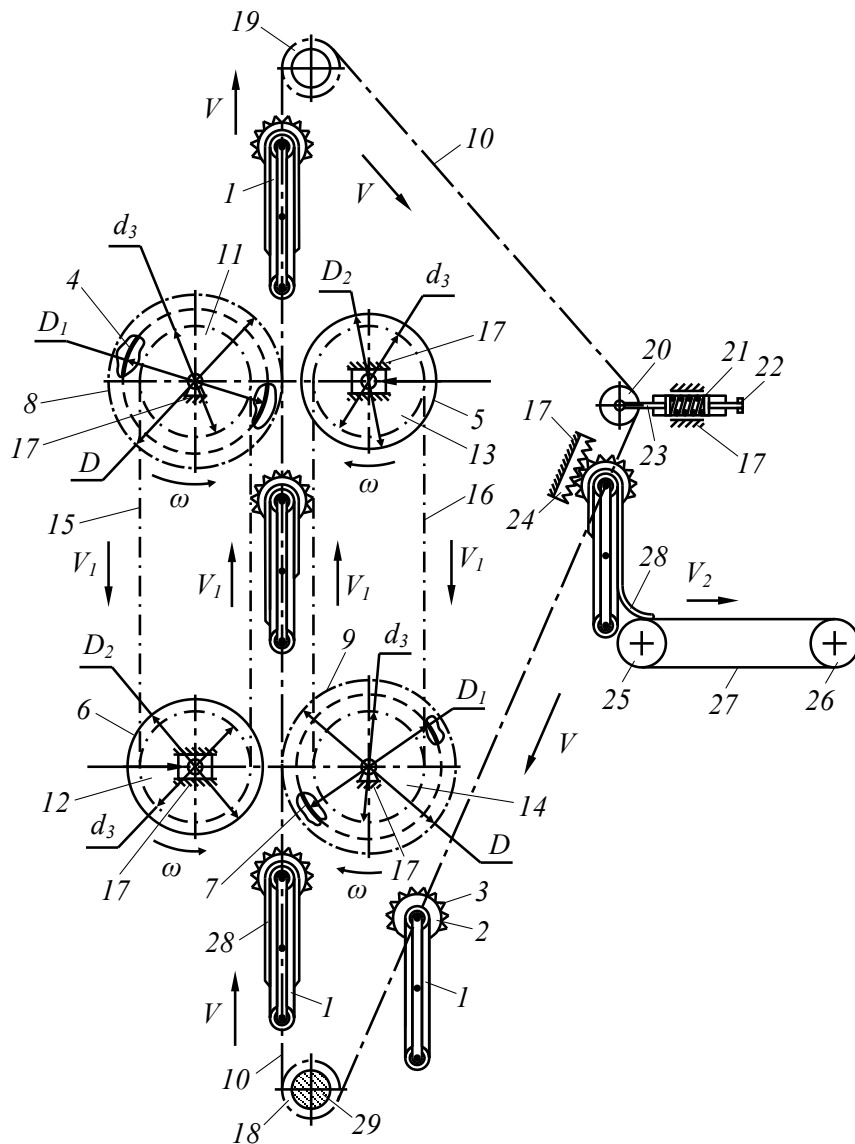


Рис. 1. Схема валковой машины для отжима волокнистых материалов

Таким образом, волокнистый материал 28 будет смещаться в сторону рабочего органа 6. А когда волокнистый материал 28 вместе с опорной плитой 1 поступит в контакт с верхней парой рабочих органов 4, 5, то произойдет обратный процесс и обрабатываемый волокнистый материал 28 займет исходной положение относительно опорной плиты 1. Линейная скорость рабочих органов V_{D_1} 4, 7 одинаковая и меньше скорости V транспортирующих цепей 10.

При дальнейшем перемещении опорной плиты 1 с волокнистым материалом 28 попадает в зону установки зубчатых реек 24, где звездочки 3 контактируют с ними и вращают валик 2, который перемещает волокнистый материал 28 в сторону транспортера с валиками 25, 26 и лентой 27. Когда звездочки 3 выходят из контакта с зубчатыми рейками 24, то волокнистый материал 28 располагается на вращающейся ленте 27 со скоростью V_2 транспортера, которая больше чем скорость V нисходящей ветви транспортирующей цепи 10, что и обеспечивает автоматический сьем волокнистого материала 28 после его обработки.

3. Общие рекомендации

Преимущество разработанной нами конструкции валковой машины для механической обработки мокрых волокнистых материалов по сравнению с аналогичными технологическими машинами, очевидно, так как, она обеспечивает равномерность остаточной влажности при технологической операции отжима на всех участках волокнистого материала 28, включительно и в зоне перегиба на носовой части опорной плиты 1. При этом устраняются дефекты, возникающие из-за неравномерного содержания влаги волокнистых материалов в последующих технологических операциях. Повышается выход по площади кожевенного полуфабриката за счет растяжения после процесса удаления излишней влаги.

4. Заключение

Таким образом, повышается эффективность технологической операции отжима излишней влаги из мокрых волокнистых материалов. Устраняется процесс ручного съема обработанных волокнистых материалов с подающих опорных плит.

Предложена новая конструкция валковое устройство для механической обработки мокрых волокнистых материалов, которая обеспечивает равномерность отжима влаги из волокнистого материала, например кожевенного полуфабриката, за счет механизма привода рабочих органов и специальной конструкции опорной плиты. Разработан новый механизм автоматического съема волокнистого материала с опорных плит после его отжима влаги.

Список литературы: 1. Бурмистров, А. Г. Машины и аппараты производство кожи и меха / А.Г. Бурмистров – М.: КолосС, 2006. – 384 с. 2. Болобанова, Н. Л. Развитие методов моделирования профилировок и упругих деформаций валков листовых станов с целью совершенствования технологии прокатки широких полос. дисс. ... канд. техн. наук. Череповец, 2015 г. 120 с. 3. Аманов, Т. Ю. Устройство для обеспечения усилия прижима между рабочими органами валковых технологических машин / Т.Ю. Аманов, С.Д. Баубеков, Г.Н. Цой, А.М. Набиев // Современные наукоемкие технологии. – Пенза: – 2018. - № 9. – С. 9–14. 4. Бахадиров Г.А., Набиев А.М. Классификация и анализ опорных плит валковой машины // Машиностроение и техносфера XXI века // Сборник трудов XXIV международной научно-технической конференции в г. Севастополе 11-17 сентября 2017 г. – Донецк: ДонНТУ, 2017. – С. 32-35. – 368 с.

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ WI-FI В РЕКОНФИГУРИРУЕМЫХ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЯХ РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ

Борзов Д.Б., Асеев Д.А. (ЮЗГУ, г. Курск, Россия, +7-919-273-67-00)

Abstract: The article discusses the prospects for the use of reconfigurable real-time computer networks based on the Wi-Fi wireless protocol and computers to accelerate the solution of various tasks and their application for modeling and analyzing complex technical systems.

Keywords: computer networks, reconfigurable, wireless, virtual reality, mechanical engineering, Wi-Fi.

Аннотация

В статье рассматриваются перспективы применения реконфигурируемых вычислительных сетей реального времени на беспроводном протоколе Wi-Fi и вычислительных машин для ускорения решения разнопрофильных задач и применения их для моделирования и анализа сложных технических систем.

Ключевые слова: вычислительные сети, реконфигурируемые, беспроводные, виртуальная реальность, машиностроение, Wi-Fi.

Реконфигурируемые вычислительные сети реального времени

Создание системы, способной адаптироваться под разные условия это один из перспективных методов повышения реальной производительности вычислительных комплексов. Многие ученые занимались обозначенной темой, в своих работах они наглядно показали, насколько эффективен выше названный метод повышения производительности на примере распределения задач на отдельные процессорные модули (ПМ) [1].

Однако такие системы систем, как правило, не мобильны, а их изменение трудоемкий и затратный процесс [2].

Многопроцессорную вычислительную сеть из перемещаемых процессорных модулей можно описать неориентированным графом (рис.1), где вершины, это ПМ, а ребра графа - связи между ними [3]. Веса ребер между вершинами представляют собой коэффициент силы сигнала между ПМ.

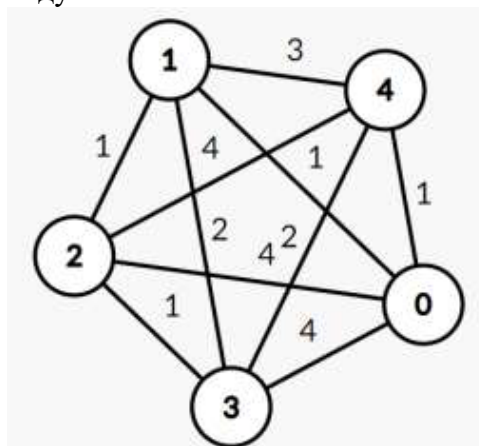


Рис. 1. – Граф вычислительной системы

Задача построения реконфигурируемых вычислительных систем реального времени, построенных на беспроводном протоколе, является крайне важной для развития как наукоёмких отраслей, так и других сфер жизни.

С помощью технологии Wi-Fi связи можно без труда соединять различные вычислительные машины в пределах предприятий и учебных заведений (в том числе и

подвижные) между собой в любой точке которую покрывает сигнал. Такой подход поможет использовать всю незадействованную мощность таких устройств, как например мобильные телефоны для выполнения полезных задач.

Преимущества и недостатки применения Wi-Fi связи для вычислительных сетей реального времени

Современная беспроводная связь – это качество передачи информации в широком диапазоне и невысокая цена оборудования [4].

Однако у протокола Wi-Fi, есть и ряд недостатков. Во-первых, это небольшой радиус действия, и зависимость силы сигнала от физических преград между устройствами [5]. Эти факторы могут приводить в некоторых случаях к преждевременному выпадению вычислительных модулей из сети. Такую проблему можно решить дополнительными ретрансляторами, однако, несмотря на это важно иметь ряд алгоритмов для реконфигурации вычислительной сети, и делегирования задач в зависимости от уровня связи между объектами приема-передачи. Применение вычислительных систем, на современных версиях протокола Wi-Fi с использованием таких алгоритмов будет обладать рядом преимуществ:

- За счет регулярной смены как ПМ и их расположения уменьшается вероятность утечки данных.
- Хост-устройство так же меняется, в следствие чего сложнее производить кибер-атаки.
- Выход из строя любого из ПМ никак не повлияет на работу всей системы, так как назначенная ему задача все равно будет выполнена после распределения ее исправному модулю.
- Скорость передачи данных выше, чем в локальных сетях Ethernet.

Вывод

Реконфигурируемые вычислительные сети реального времени на основе Wi-Fi обладают широким потенциалом применения в наукоёмких сферах деятельности человека. В первую очередь на предприятиях и в учебных заведениях.

Новые разработки в этой области позволят ускорить дальнейшее технологическое развитие и подарить человечеству множество новых возможностей для исследований.

Однако на данный момент все еще актуальной задачей является разработка алгоритмов размещения процессорных модулей, разработка эффективных устройств приема передачи данных для перемещаемых ПМ.

Список литературы: 1. Андреев А. М. Многопроцессорные вычислительные системы: теоретический анализ, математические модели и применение [Текст]: учеб. Пособие / А. М. Андреев // Изд-во МГТУ, 2011. 2. Оптимальное распределение ресурсов с использованием динамического программирования [Текст] / Костюкевич В. М., Давыдков Г. А., Хотина И. Г. // Петрозаводский государственный университет 2008. 3. Оре О. Теория графов [Текст]: учеб. Пособие / О. Оре // Изд-во «Наука», 1968. 4. Тимошкин А.И., Костюк Д.В. Спутниковая связь и навигация [Текст]: учеб. Пособие / А.И. Тимошкин, Д.В Костюк. // Северо-Кавказский федеральный университет, 2018. 5. Coleman D.D., Westcott D.A. CWNA Certified Wireless Network Administrator Study Guide: Exam CWNA-108 [Текст]: учеб. Пособие / D.D. Coleman, D.A. Westcott // изд-во «Sybex». – 2021.

ЭКСТРЕМАЛЬНОЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ ПРИНУЖДЕНИЕ В ОПТИМАЛЬНОМ ПЕРЕМЕЩЕНИИ УПРУГОГО ОБЪЕКТА

Бохонский А.И.¹, Варминская Н.И.² (¹ СевГУ, г. Севастополь, Россия;
² ЧВВМУ имени П.С. Нахимова, г. Севастополь, Россия)
E-mail: bohon.alex@mail.ru; nvarminska@gmail.com

Abstract: Attention is drawn to the analogy between purposeful motion and the possible minimum energy consumption (minimum energy coercion according to the K.F. Gauss principle) in controlled motion of the "acceleration-deceleration" type. Examples of designing controls with the least energy constraint are given.

Keywords: Reversible design of controls, reversible optimality principle (RPO), principle of least constraint, reduction of energy consumption, "acceleration-deceleration" motion, translational and relative motion, elastic system, oscillations, moment ratios, absolute rest, total motion time.

Введение

Методам теории оптимального управления перемещением объектов, управлению колебаниями упругих систем посвящены работы [1-4]. И в настоящее время продолжают оставаться актуальными задачи, посвященные проектируемым экстремальным свойствам движения объектов техники. Отдельные типы оптимального управления могут быть обоснованы с использованием принципа наименьшего энергетического принуждения для достижения цели движения.

В 1829 г. К. Ф. Гаусс опубликовал статью «Об одном новом принципе механики», который со временем получил название принципа наименьшего принуждения [5]. В работе [6] приведены варианты формулировок и применения принципа наименьшего принуждения, а также важное утверждение о том, что в истинном движении принуждение (работа реакций связей) является минимальным. На этом основании можно также утверждать, что в действительном движении реализуется и наименьшее энергетическое принуждение.

В работах [7-11] обращено внимание на использование алгоритма решения полной обратной задачи вариационного исчисления для конструирования оптимальных управлений типа «разгон-торможение». На ряде примеров было показано, что такой подход приводит к экономии энергии для реализации цели движения – из исходного в конечное состояние покоя.

Аналитические функции оптимального управления движением типа «разгон-торможение»

В работах [5-12] приведены универсальные аналитические зависимости для оптимального переносного движения объекта при нечетных степенях полинома ускорения ($n = 1, 3, 5, 7, \dots$). Ускорение (управление), скорость и перемещение в общем случае имеют вид:

$$\begin{aligned} U_e(t) &= \frac{L}{T^2} (2n+4) \left(\frac{T-2t}{T} \right)^n, & V_e(t) &= \frac{L}{T} \frac{n+2}{2n+2} \left(1 - \left(\frac{T-2t}{T} \right)^{n+1} \right), \\ S_e(t) &= \frac{L}{2n+2} \left(\left(\frac{T-2t}{T} \right)^{n+2} + 2n \frac{t}{T} + 4 \frac{t}{T} - 1 \right), \end{aligned} \quad (1)$$

где L, T – заданные перемещение и время движения. Из (1) при $n = 1$ следует частный случай классического управления, который находится вариационным методом теории оптимального управления при заранее заданном критерии $J = \int_0^T U_1^2 dt$.

Примеры реверсионного конструирования управления

Задан полином

$$S_e(t) = \sum_{i=1}^n C_i t^{i+1}, \quad V_e(t) = \frac{dS_e(t)}{dt}, \quad U_e(t) = \frac{dV_e(t)}{dt},$$

где C_i – константы, $V_e(t)$ – скорость, $U_e(t)$ – ускорение (управление), для которого выполняются условия: $V_e(0) = 0, S_e(0) = 0$.

Приняты условия:

$$S_e(T) = L,$$

$$U_e(0) + U_e(T) = 0, \quad \dot{U}_e(T/2) = 0,$$

где L – общее перемещение. Дополнительно использован интегральный квадратичный критерий:

$$E_p = \frac{1}{2} \int_0^T (U_1 - U_e)^2 dt = \min, \quad (2)$$

где $U_1 = \frac{6L(T-2t)}{T^3}$ – управление, которое, как отмечалось выше, находилось с использованием критерия $J = \int_0^T U_1^2 dt$.

Из необходимого условия экстремума функционала (2) следуют уравнения для определения констант. После факторизации полиномов, выражения для ускорения, скорости и перемещения принимают вид:

$$U_e = \frac{10L}{T^5} (T-2t)^3, \quad V_e(t) = \frac{10Lt}{T^5} (T-t)(2t^2 - 2T \cdot t + T^2),$$

$$S_e(t) = \frac{Lt^2}{T^5} (5T^3 - 10T^2 \cdot t + 10T \cdot t^2 - 4t^3).$$

На рисунке 1 представлены графики перемещения и скорости переносного движения объекта. На рисунке 2 изображены для сравнения графики управлений $U_1(t)$ и $U_e(t)$. Интересно, что и без критерия может быть получен этот же результат [12].

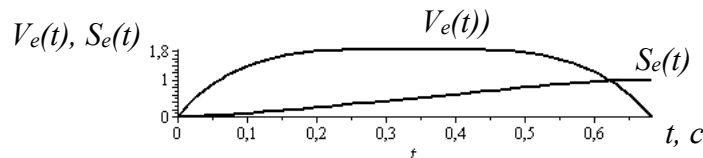


Рис. 1. – Графики перемещения $S_e(t)$ и скорости $V_e(t)$ конструируемого движения

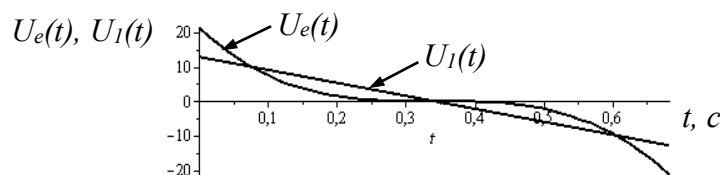


Рис. 2. – Графики классического $U_1(t)$ и конструируемого $U_e(t)$ управлений

Принцип наименьшего энергетического принуждения: при оптимальном управлении (ускорении) «разгон-торможение» переносным движением объекта с достижением нового состояния покоя с ростом степени полинома ускорения мера энергетического принуждения стремится к предельному значению.

Характеристики оптимального движения при различных степенях полинома приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Обобщенные характеристики движения

Степень полинома n	Норма мощности $J_1 = \int_0^T U_e^2 dt$	Действие (по Лагранжу) $J_2 = \int_0^T V_e^2 dt$	Энергия $J_3 = 2 \int_0^{T/2} U_e V_e dt$	Скорость $V_e\left(\frac{T}{2}\right) = \int_0^{T/2} U_e dt$	Критерий принуждения $E_p = \frac{1}{2} \int_0^T (U_1 - U_e)^2 dt$
1	$\frac{12L^2}{T^3}$	$\frac{1,2L^2}{T}$	$\frac{2,25L^2}{T^2}$	$\frac{1,5L}{T}$	
3	$\frac{14,2857L^2}{T^3}$	$\frac{1,1111L^2}{T}$	$\frac{1,5625L^2}{T^2}$	$\frac{1,25L}{T}$	$\frac{1,1428L^2}{T^3}$
5	$\frac{17,818L^2}{T^3}$	$\frac{1,0769L^2}{T}$	$\frac{1,3611L^2}{T^2}$	$\frac{1,166L}{T}$	$\frac{2,909L^2}{T^3}$
117	$\frac{241,038L^2}{T^3}$	$\frac{1,0042L^2}{T}$	$\frac{1,017L^2}{T^2}$	$\frac{1,0085L}{T}$	$\frac{114,52L^2}{T^3}$

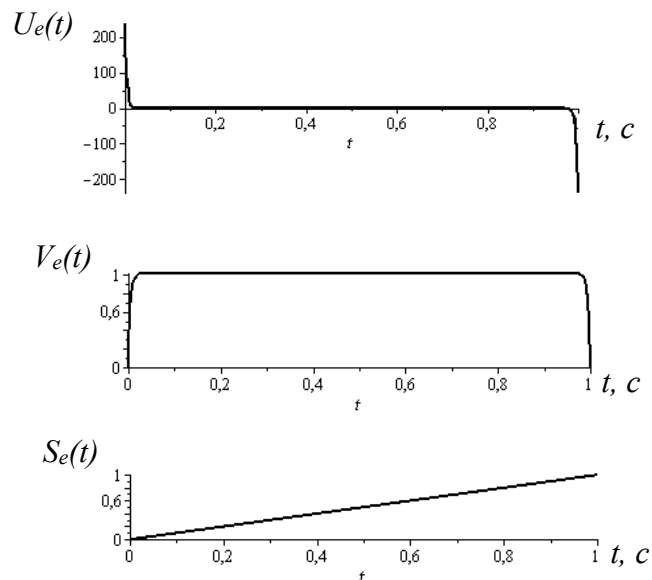


Рис. 3. – Графики ускорения $U_e(t)$, скорости $V_e(t)$ и перемещения $S_e(t)$ при $n = 117$

Движение упругих систем сопровождается колебаниями. Требуется найти такое общее время движения, при котором достигается не только переносный, но и относительный покой. С отключением в этот момент управления достигается абсолютный покой системы. Для поиска общего времени движения применены моментные соотношения.

При кососимметричных управлениях типа разгон-торможение переносным движением упругого объекта существуют фиксированные моменты времени s

достижениями мгновенного абсолютного покоя.

Обоснование этого утверждения (или теоремы) дано на примере упругой системы с одной степенью свободы. Дифференциальное уравнение, описывающее относительное движение системы с одной степенью свободы без учета сопротивления

$$\ddot{x}_r + k^2 x_r = -U_e(t), \quad (3)$$

где x_r – относительное перемещение; k – частота собственных колебаний; $U_e(t)$ – управление (ускорение на единицу массы) в оптимальном переносном движении. При нулевых начальных условиях $x_r(0) = 0$ и $\dot{x}_r(0) = 0$ записываются моментные соотношения:

$$\int_0^T U_e(t) \sin k(T-t) dt = 0; \quad \int_0^T U_e(t) \cos k(T-t) dt = 0. \quad (4)$$

Из (3) или (4) после интегрирования для $t = T$ следуют трансцендентные уравнения, имеющих при заданном k множество решений.

Пример 1. Классическое управление [1]

$$U_e(t) = \frac{6L}{T^3}(T-2t), \quad (5)$$

для которого интегралы (4) преобразуются к виду:

$$\cos(kT)kT - 2\sin(kT) + kT = 0, \quad \sin(kT)kT + 2\cos(kT) - 2 = 0. \quad (6)$$

Графическое решение системы (6) изображено на рисунке 4.

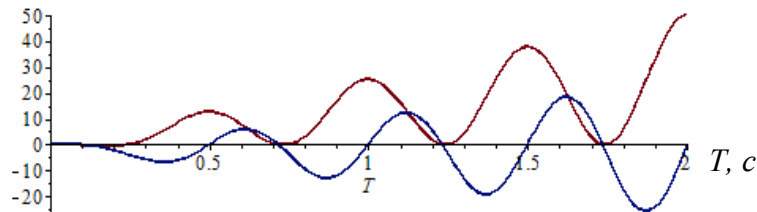


Рис. 4. – Графическое решение системы уравнений (6)

Из графиков следует, что система (6) имеет корни, иллюстрирующие достижение мгновенного покоя.

Как отмечалось ранее, моментные соотношения могут быть найдены непосредственно как решения уравнения (3) при нулевых начальных условиях:

$$x_r = -\frac{12 \sin(kt)L}{T^3 k^3} + \frac{6 \cos(kt)L}{T^2 k^2} - \frac{6L(T-2t)}{T^3 k^2}. \quad (7)$$

Для скорости в относительном движении следует:

$$v_r = \frac{dx_r}{dt} = -\frac{12 \cos(kt)L}{T^3 k^2} - \frac{6 \cos(kt)L}{T^2 k} + \frac{12L}{T^3 k^2}. \quad (8)$$

После приравнивания (7) и (8) нулю при $t = T$, т.е. $x_r(T) = 0$ и $\dot{x}_r(T) = 0$, получены трансцендентные уравнения (6).

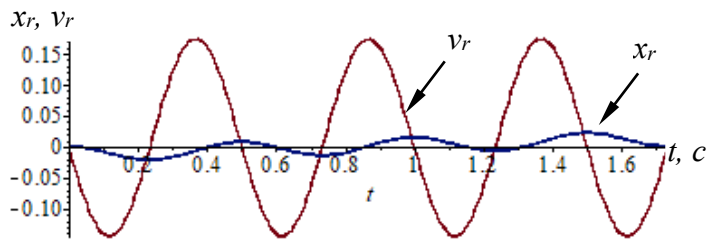


Рис. 5. – Графики перемещения $x_r(t)$ и скорости $v_r(t)$ в относительном движении

Графики перемещения $x_r(t)$ и скорости $v_r(t)$ в относительном движении за время, полученное как один из корней моментных соотношений, изображены на рисунке 5. Графики подтверждают отсутствие колебаний в момент времени $t = T$.

Пример 2. Управление в виде полинома [9, 10, 12]

$$U_e(t) = \frac{10L}{T^5}(T - 2t)^3. \quad (9)$$

Для управления (9) моментные соотношения (4) записываются так:

$$\begin{aligned} \cos(kT)k^3T^3 - 6\sin(kT)k^2T^2 + k^3T^3 - 24\cos(kT)kT + 48\sin(kT) - 24kT &= 0; \\ \sin(kT)k^3T^3 + 6\cos(kT)k^2T^2 - 6k^2T^2 - 24\sin(kT)kT - 48\cos(kT) + 48 &= 0. \end{aligned} \quad (10)$$

Графическое решение системы уравнений (10) представлено на рисунке 6.

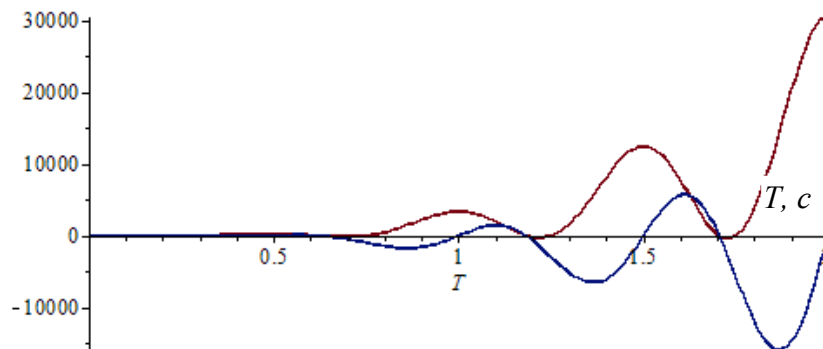


Рис. 6. – Графическое решение системы уравнений (10)

Графики перемещения $x_r(t)$ и скорости $v_r(t)$ в относительном движении для $T = 1,7$ с изображены на рисунке 7, откуда следует, что в конечный момент времени наступает относительный покой.

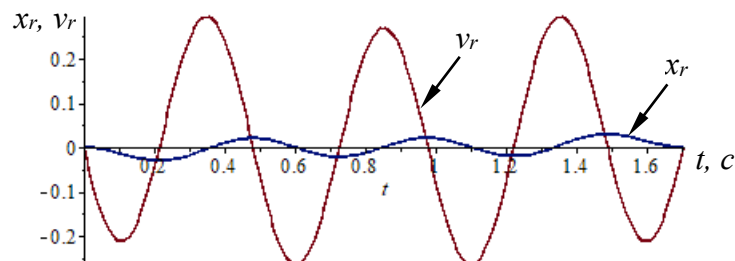


Рис. 7. – Графики перемещения $x_r(t)$ и скорости $v_r(t)$ в относительном движении для управления (9)

Пример 3. Управление в виде гармонической функции [12]

$$U_e(t) = a \sin^{2n-1}(pt), \quad (11)$$

где $p = k/n_1$; n, n_1 – целые числа.

Для управления (11) моментные соотношения при $n = 2$ записываются так:

$$\sin(3pT)k^3 - \sin(3pT)kp^2 - 3\sin(pT)k^3 + 27\sin(pT)kp^2 - 24\sin(kT)p^3 = 0;$$

$$\cos(3pT)k^2 - \cos(3pT)p^2 - \cos(pT)k^2 + 9\cos(pT)p^2 - 8\cos(kT)p^2 = 0.$$

Графики (рисунок 8) свидетельствуют о наступлении относительного покоя в конечный момент времени.

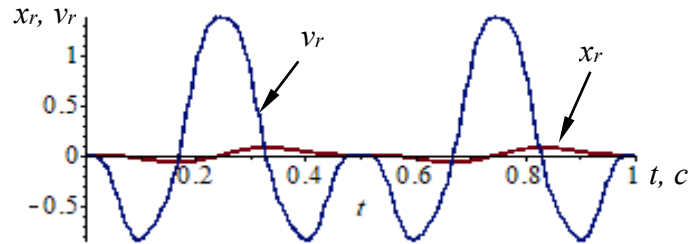


Рис. 8. – Графики перемещения $x_r(t)$ и скорости $v_r(t)$ в относительном движении для управления (11) при $n = 2$

Заключение

С использованием механической аналогии сформулирован принцип наименьшего энергетического принуждения, отражающий свойство снижения энергоемкости оптимального управляемого движения объекта из исходного в конечное состояние покоя при заданных времени движения и расстоянии.

С ростом степени полинома ускорения увеличивается число ограничений - условий косо́й симметрии управления, но без потери самой цели движения. В известном смысле принцип наименьшего энергетического принуждения перекликается с принципом наименьшего действия (например, в форме Ж. Л. Лагранжа), отражая в данном случае тенденцию снижения энергии.

Конечный предельный результат ($n \rightarrow \infty$) свидетельствует о том, что предельная экономия энергии приводит к постоянной скорости на всем временном участке движения, но, естественно, возникают практические трудности при задании такой скорости (разгоне) и ее устранении (торможении).

Моментные соотношения дают общее время движения упругой системы, при котором достигается абсолютный покой как сумма переносного и относительного. На выбор конкретного времени движения могут быть наложены дополнительные ограничения: возможности имеющегося привода; ограничения по мощности привода или по допускаемым перегрузкам; необходимость так называемого «комфортного» движения.

Список литературы: 1. Красовский Н.Н. Теория управления движением / Н.Н. Красовский. – М.: Наука, 1968. – 476 с. 2. Крутько П.Д. Обратные задачи динамики управляемых систем: линейные модели / П.Д. Крутько. – М.: Наука, 1987. – 304 с. 3. Карновский И.А. Методы оптимального управления колебаниями деформируемых систем / И.А. Карновский, Ю.М. Почтман. – К.: Высш.шк., 1982. – 116 с. 4. Черноусько Ф.Л. Управление колебаниями / Ф.Л. Черноусько, П.Д. Акуленко, Б.Н. Соколов. – М.: Наука, 1980. – 384 с. 5. Гаусс К. Об одном новом общем принципе механики / К. Гаусс // Вариационные принципы механики. – М.: Физматгиз, 1959. – С. 170 – 172. 6. Маркеев А.П. О принципе наименьшего принуждения / А.П. Маркеев // http://www.pereplet.ru/nauka/Soros/pdf/9801_113.pdf. 7. Бохонский А.И. Энергоемкость управления перемещением объектов / А.И. Бохонский // Фундаментальные основы механики: матер. междунар. науч.-практич. конф. – Новокузнецк: НИЦ МС, 2017. – С. 38 – 41. 8. Бохонский А.И. Конструирование управляемого движения объекта / А.И. Бохонский, А.И. Рыжков // Механика, автоматика и робототехника: матер. междунар. науч.-практич. конф. – Новокузнецк: НИЦ МС, 2017. – С. 64 – 69. 9. Бохонский А.И. Конструирование оптимального управления движения объектов как абсолютно твердых и деформируемых тел / А.И. Бохонский, Н.И. Варминская, А.И. Рыжков // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. – Орел: НИЦ МС, 2016. – С. 70 – 76. 10. Бохонский А.И. Реверсионный принцип оптимальности / А.И. Бохонский. – М.: Вузовский учебник: ИНФРА-М, 2016. – 174 с. 11. Бохонский А.И., Варминская Н.И., Рыжков А.И. Принцип и теоремы реверсионного исчисления // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. – Орел: ОГУ им. И.С. Тургенева, № 3 (347), 2021. – С. 12 – 21. 12. Бохонский А.И., Варминская Н.И. Конструирование оптимальных управлений перемещением упругих объектов / А.И. Бохонский, Н.И. Варминская. – Санкт-Петербург: НИЦ МС, 2020. – 120 с.

ПРОХОДКА СПАРЕННЫХ ШТРЕКОВ В УГОЛЬНЫХ ШАХТАХ

Буялич Г. Д., Тащиенко В. П. (КузГТУ, г. Кемерово, Россия)

Тел. +7 (3842) 35-65-40, E-mail: gdb@kuzstu.ru

Abstract: *the proposed system for the development of a coal seam by long pillars along the strike with the reverse order of mining is presented, in which, when driving paired drifts, the cuts are excavated by a rock-cutting unit based on a hydraulic hammer, located on a monorail at the roof of the working. The hydraulic hammer is controlled by a manipulator that provides processing of the entire surface of the tunneling face.*

Key words: *excavation of a coal seam, carrying out paired drifts, tunneling works, mine workings, rock cutting unit.*

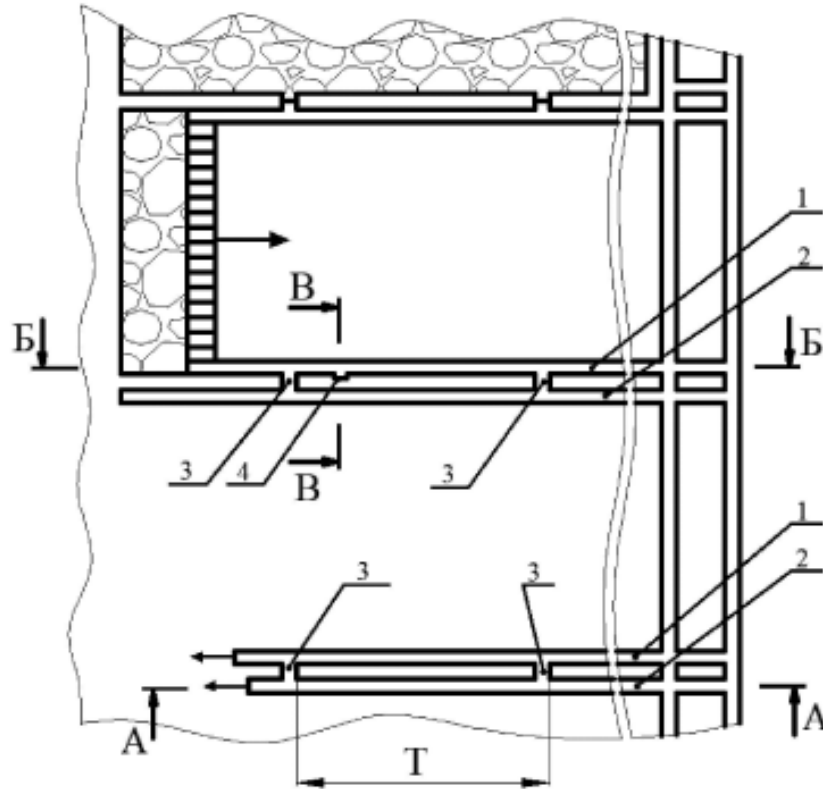
На протяжении нескольких последних лет в Кузбасском государственном техническом университете имени Т. Ф. Горбачева (КузГТУ) на ряде шахт Кузбасса проводились исследования по применению устройств дробления негабаритов в очистных забоях угольных шахт [1–5] в комплекте с малогабаритной маслостанцией [6–9], обеспечивающей работу гидромолота. При этом гидромолот в качестве рабочей жидкости использует масло, а в качестве источника энергии маслостанция использует напор водо-масляной эмульсии, используемой в гидросистеме механизированной крепи очистного комплекса. Такое подключение маслостанции позволяет использовать её в любом месте лавы.

Предлагается схема отработки угольного пласта длинными столбами по простиранию при использовании спаренных штреков [10–12] (см. рис. 1).

Обычным образом сбойки 3 (рис. 1) проводятся проходческим комбайном, используемым при проведении самих штреков, что сопровождается снижением производительности проведения спаренных штреков и неоправданно большими материальными и трудовыми затратами. Расстояние между сбойками в зависимости от горно-геологических и горнотехнических условий составляет 100–200 м.

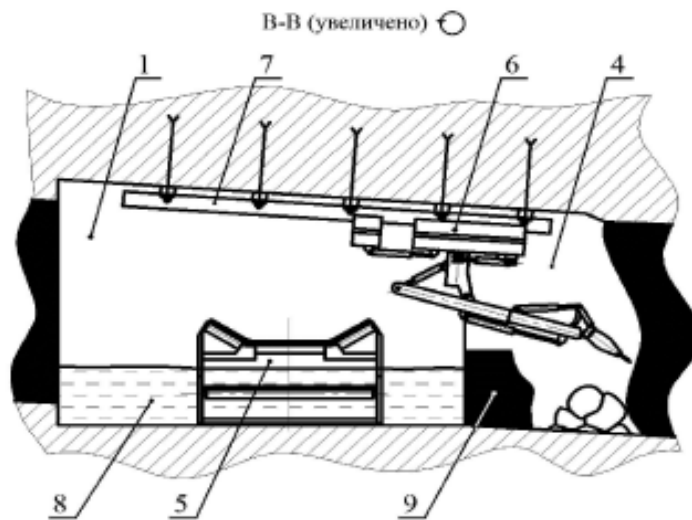
На рис. 2 приведено расположение горнопроходческого агрегата при его монтаже в штреке и образования устья сбойки. Монорельс 7, являющийся базой для размещения и передвижения породоразрушающего агрегата 6 вдоль сбойки, закрепляется с помощью анкеров к кровле штрека 1 и по мере продвижения – к кровле сбойки 4.

На рис. 3 приведено расположение оборудования породоразрушающего агрегата в процессе проведения основной части сбойки между спаренными штреками, а также расположение анкерного крепления монорельса для базирования агрегата, расположение вентиляционного рукава для проветривания проходческого забоя и размещение скребкового конвейера для механизированного транспортирования отбитой горной массы из-под горнопроходческого агрегата на ленточный конвейер, расположенный в спаренном штреке.



1, 2 – спаренные штреки; 3 – сбойка; 4 – начало проведения (устье) сбойки

Рис. 1. Схема отработки выемочного столба спаренными штреками



1 – спаренный штрек; 4 – устье сбойки; 5 – штрековый конвейер; 6 – гидромолот с манипулятором; 7 – монорельс для гидромолота; 8 – вода природная; 9 – барьер от проникновения природной воды в рабочее пространство сбойки

Рис. 2. Схема монтажа проходческого устройства для проведения сбойки

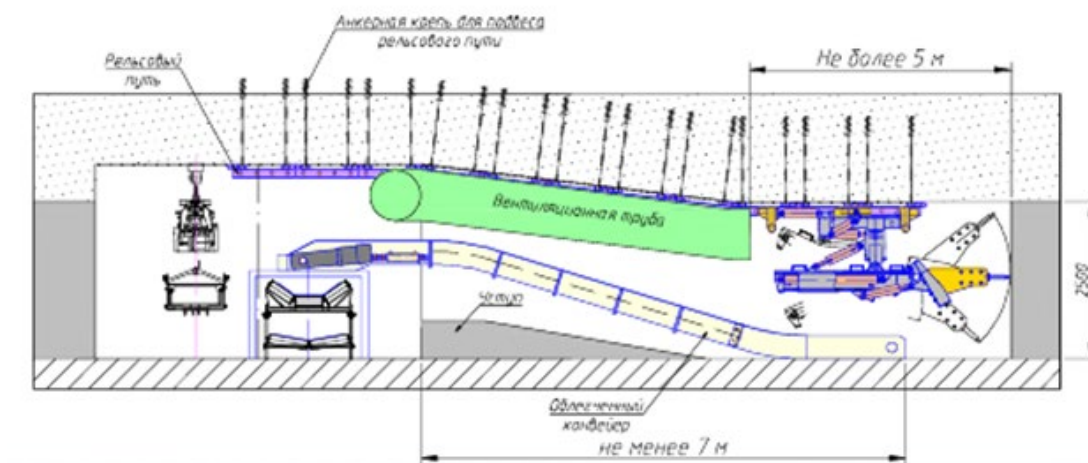


Рис. 3. Расположение оборудования при проходке сбойки

Предлагаемое техническое решение позволяет снизить материальные и трудовые затраты при проведении спаренных штреков и повысить производительность проходческих работ при подготовке выемочного столба для отработки угольного пласта подземным способом.

Список литературы: 1. Секция механизированной крепи: патент на полезную модель РФ 184573 U1, 30.10.2018. 2. Секция механизированной крепи: патент на полезную модель РФ 195623 U1, 03.02.2020. 3. Секция механизированной крепи: патент на полезную модель РФ 196644 U1, 11.03.2020. 4. Гидропривод очистного механизированного комплекса: патент на полезную модель РФ 196646 U1, 11.03.2020. 5. Секция механизированной крепи: патент на изобретение РФ 2735274 C1, 29.10.2020. 6. Насосная станция: патент на полезную модель РФ 195624 U1, 03.02.2020. 7. Насосная станция: патент на полезную модель РФ 196188 U1, 20.02.2020. 8. Насосная станция: патент на изобретение РФ 2735276 C1, 29.10.2020. 9. Насосная станция: патент на полезную модель РФ 212792 U1, 08.08.2022. 10. Подвесной проходческий породоразрушающий агрегат: патент на полезную модель РФ 210029 U1, 24.03.2022. 11. Способ разработки пластов длинными столбами по простиранию с обратным порядком отработки: патент на изобретение РФ 2780415 C1, 22.09.2022. 12. Способ проведения ответвления от подземной выработки в зоне скопления воды: патент на изобретение РФ 2781724 C1, 17.10.2022.

ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА СПОСОБА СОЗДАНИЯ ТОРМОЗЯЩЕГО МОМЕНТА ДЛЯ ИСПЫТАНИЯ ТЯГОВЫХ ЛЕБЕДОК ТРАНСПОРТНЫХ МАШИН

Васильев В.И., Семенов А.Н. (ФГБОУ ВО, РГТУ имени П.А. Соловьева,
г. Рыбинск, Россия)

Тел.: +7 909 276 7806; +7 905 132 6388,

E-mail: mongok164@yandex.ru; semenov.av@rsatu.ru

Abstract: *The article deals with the problem of developing a domestic braking device for testing traction devices of transport equipment, which provides the possibility of import substitution of similar devices of foreign manufacturers*

В настоящее время, в условиях рыночных отношений и конкуренции, к любому виду продукции предъявляются высокие требования к качеству и сохранению работоспособности в течение определенного количества времени. Особенно это касается ответственных конструкций и механизмов, таких как автомобильные тяговые лебедки. Данный вид продукции представляет собой барабан, внутри которого расположен планетарный редуктор, управление которым осуществляется с помощью встроенного гидроблока. Таким оборудованием оснащают специальную технику, эвакуаторы, внедорожники, грузовые автомобили. Они предназначены для самовытаскивания при застревании транспортного средства или для подъема и подтягивания груза. Для контроля качества изделия, после окончательного этапа сборки механизма, каждую лебедку проверяют на специальном испытательном стенде.

Для этих задач существует испытательный стенд, где главной задачей при испытании является создание нагрузки при помощи тормозящего устройства [1]. Собранный укомплектованный лебедка устанавливается на испытательный стенд, где металлический трос с помощью электродвигателя наматывается на барабан, совмещенный с порошковым электромагнитным тормозом. Обратное движение (смазывание) троса осуществляется посредством работы редуктора лебедки приведенного в движение электродвигателем. Во время смазывания троса создается нагрузка с помощью порошкового электромагнитного тормоза. Недостатком конструкции стенда является то, что нагружающее устройство, в состав которого входит нагружатель, служащий в качестве задачика усилия на тросе, выполненный в виде динамометрического электромагнитного порошкового тормоза, не обеспечивает точность измерения, воспроизводимого усилия на тросе тяговой лебедки и обладает низкой скоростью реакции на изменение усилия на тросе испытываемой тяговой лебедки. Так же данное устройство является техническим сложным, имеет высокую стоимость и является импортным оборудованием. В связи с этим поиск альтернативных способов нагружения лебедок является перспективным и необходимым.

Для того что бы найти альтернативные способы создания нагрузки на испытательных стендах, необходимо ознакомиться с конструкцией и принципом работы существующих устройств. В настоящее время к самым распространенным способам создания усилия на подобных испытательных стендах, являются электромагнитные порошковые тормоза. По характеру развиваемого тормозного усилия порошковые электромагнитные тормоза относятся к фрикционным тормозам, а по способу образования силы сцепления – к электромагнитным тормозам [2].

Принцип работы их основан на использовании механического и молекулярного взаимодействия различного рода магнитных порошков в магнитном поле пространства между неподвижной и подвижной частями тормоза. В этих тормозах магнитный поток

пропускается нормально к поверхностям тормозных элементов. При относительном сдвиге рабочих поверхностей возникает сопротивление сдвигу от взаимного трения намагниченных частиц порошка, и, следовательно, и тормозной момент будет тем больше, чем сильнее магнитный поток. Наиболее интенсивно смещаются частицы, находящиеся в середине порошкового слоя; по направлению к рабочим к рабочим поверхностям интенсивность сдвига снижается и частицы, прилегающие непосредственно к рабочим поверхностям, не имеют движения относительно этих поверхностей и, следовательно, рабочие поверхности тормоза не связаны друг с другом, так как силы сцепления отсутствуют.

Величина тормозного момента, развиваемого тормозом, зависит от магнитных сил сцепления между частицами и пропорциональна магнитному потоку, который, в свою очередь, определяется величиной тока в обмотке катушки возбуждения тормоза. Таким образом, слой из ферромагнитного порошка представляет собой пластичное тело с управляемой прочностью на сдвиг при помощи магнитного воздействия.

Конструктивно порошковый электромагнитный тормоз (рис. 1) состоит из неподвижно укрепленного статора 1 и соединенного с одним из валов механизма ротора 2. В роторе или в статоре размещают катушку возбуждения 3, а цилиндрический зазор между ротором и статором заполняют ферромагнитным порошком или ферромагнитной смесью. При расположении катушки в статоре необходимость в контактных кольцах отпадает и конструкция упрощается. Питание катушки осуществляют от источника постоянного тока напряжением 12 или 24 В.

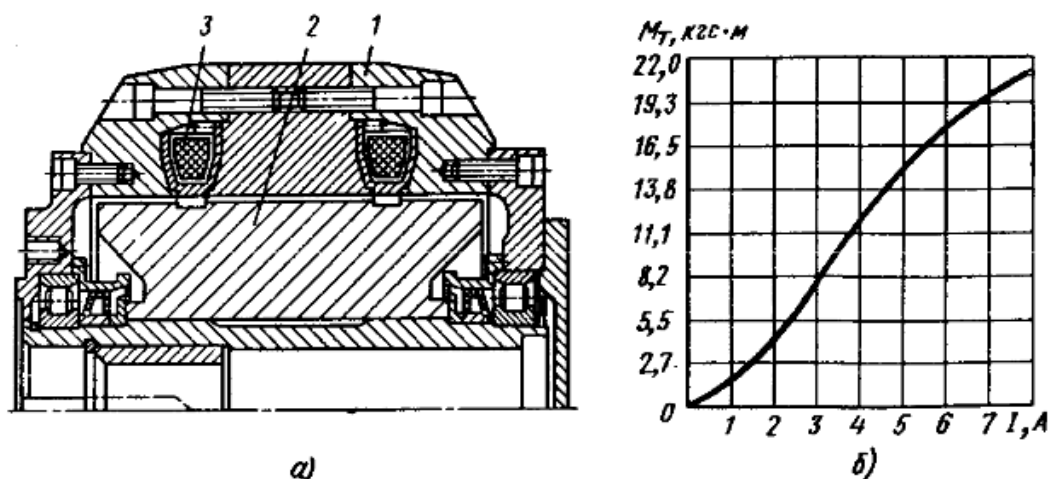


Рис. 1. Порошковый электромагнитный тормоз с катушкой в статоре: а – схема конструкции; б – зависимость тормозного момента M_m от тока возбуждения I

Из характеристики магнитного порошкового тормоза, представленного на рис. 1, видно, что величина тормозного момента M_m , практически прямо пропорциональна току возбуждения. От частоты вращения ротора n величина M_m , практически не зависит. Сопротивление сдвигу, а значит и величина тормозного момента, зависят от толщины порошкового слоя, его плотности и материала. Для заполнения зазора используются ферромагнитные порошки из карбонильного железа или порошки, полученные распылением расплавленного железа. Срок службы порошка зависит от интенсивности использования и условий работы тормоза. Так исследования показали, что ферромагнитный порошок может служить в напряженно работающих тормозах около двух лет [3].

Такой тип устройства работает весьма плавно и при введении в цепь

добавочного сопротивления позволяет иметь любую степень плавности торможения, так как за счет соответствующего изменения тока возбуждения может быть получен любой закон изменения тормозного момента. Поэтому эти тормоза широко применяются так же в различных лабораторных испытательных установках.

Однако данное устройство имеет ряд недостатков. Ввиду особой чувствительности смеси к нагреву, необходимо обращать внимание на тепловой режим тормоза. Чрезмерный нагрев порошка может привести к снижению его магнитных свойств и уменьшению тормозного момента. Кроме того, данное устройство имеет ограниченный диапазон работы. Верхним пределом частоты вращения ротора порошковых тормозов является 1500 об/мин, а нижним 50-100 об/мин. При частоте вращения свыше 1500 об/мин более сильно проявляются действия центробежных сил, а при 50 об/мин и менее невозможно обеспечить равномерное распределение порошка в рабочем зазоре. Так же ключевым недостатком данного оборудования является его высокая стоимость и низкая ремонтпригодность.

Одним из возможных направлений замены дорогостоящего электромагнитного тормоза является применение гидростанции (рис. 2), где в качестве тормозящего устройства используется гидромотор. Гидромотор представляет собой устройство, которое преобразует энергию жидкости в механическую энергию. Данную механическую энергию, можно использовать для создания тормозящего момента [4].

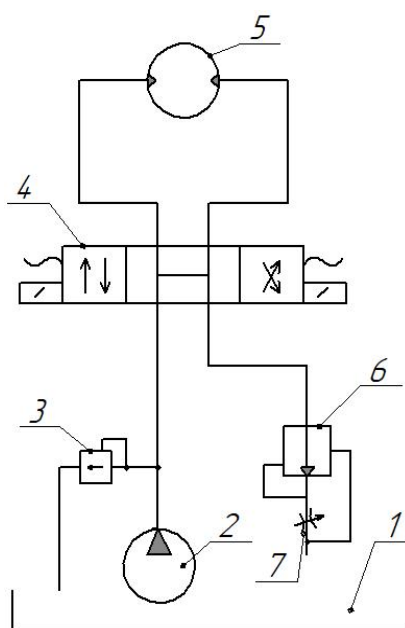


Рис. 2. Схема гидростанции для испытания тяговых устройств

1 – бак; 2 – насос; 3 – регулирующий клапан; 4 – гидрораспределитель;
5 – гидромотор; 6 – предохранительный клапан; 7 – дроссель.

В состав гидростанции, помимо гидромотора, входят следующие основные сборочные единицы: основание, на которое устанавливаются все агрегаты, бак масляный, насосный агрегат, теплообменный аппарат, прочее гидрооборудование и трубопроводы. Данная установка кинематически связана с барабаном, на котором предварительно уложен трос лебедки. При проведении испытаний за счет работы редуктора испытываемого агрегата, трос наматывается на барабан тяговой лебедки. В этот же момент срабатывает гидростанция и создает давление необходимое гидромотору для создания тормозящего эффекта. Регулирование тормозящего момента осуществляется посредством работы гидродросселя, который создает сопротивление

потоку жидкости, за счет изменения проходного сечения потока. Данная гидростанция является вспомогательным оборудованием и устанавливается стационарно, вблизи испытательного стенда. Данную гидростанцию возможно собрать из отечественных комплектующих, что в свою очередь решает проблему импортозамещения.

К достоинствам данной установки относится экономический эффект, который можно получить по сравнению с дорогостоящим, импортным порошковым электромагнитным тормозом. Кроме того, гидромотор обладает высоким КПД, имеет высокую скорость запуска и устойчив к частым запускам и остановкам. К недостаткам следует отнести увеличение габаритных размеров испытательного стенда и отсутствие данных о проведении подобных экспериментов.

Таким образом, применение гидростанции в качестве тормозного устройства на испытательном стенде является перспективным, т.к. отличается невысокой стоимостью и решает вопрос импортозамещения.

Список литературы: 1. Хмельников Е. А. Разработка и создание стенда для испытания и обкатки тяговых лебедок перспективных специальных машин / Е.А. Хмельников, Н. В. Сорока, А. В. Москвичев. — Текст : электронный // Молодежь и наука: материалы международной научно-практической конференции - Нижний Тагил : НТИ (филиал) УрФУ, 2021. - С. 85-87. 2. Александров М.П. Тормозные устройства. - М.: Транспорт, 1980. – 36 с. 3. Могилевский В.Г. Электромагнитные порошковые муфты и тормоза. - Москва: Энергия, 1964. - 104 с. 4. Башта Т.М., Руднев С.С., Некрасов Б.Б. Гидравлика, гидромашины и гидроприводы Изд. 2, перераб. Машиностроение, Москва, 1982. - 423 с.

ТЕМПЕРАТУРНОЕ ПОЛЕ ПРИ ПЛАЗМЕННОМ УПРОЧНЕНИИ СТАЛИ 45 С ПРИМЕНЕНИЕМ НЕПОДВИЖНОГО И ДВИЖУЩЕГОСЯ ИСТОЧНИКОВ ТЕПЛА

Веремейчик А.И., Холодарь Б.Г. (БрГТУ, г. Брест, Беларусь)
Тел./ факс: +375-162-32-17-44; E-mail: vai_mrtm@bstu.by

Abstract: Based on the results of the analytical solution of the spatial problem of non-stationary heat conduction, the temperature field in steel 45 was studied under the action of a heat flux in the form of a spot with a uniformly distributed and normally circular intensity. Modeling of temperature fields, heating (cooling) rates is carried out using a computer program created in the FORTRAN environment. For a wide range of plasma torch operation modes, the dependences of the temperature field on time and coordinates are obtained. The influence of the parameters of the plasma hardening process on the temperature field in the zone of the heating spot has been studied.

Keywords: temperature field, heat flow, heating source, jet, plasma torch.

Структурные превращения в конкретном материале, обрабатываемом с помощью струи плазматрона, связаны прежде всего с уровнем и продолжительностью теплового воздействия струи в ограниченной области тела, примыкающей к зоне нагрева. Поэтому знание пространственно-временного распределения параметров температурного поля по объему этой зоны представляет практический интерес, причем имеют значение два режима нагружения – струей неподвижного источника и струей источника, движущегося с заданной постоянной скоростью. Решение задач подобного типа известны и приведены во многих работах, в частности, в [1, 2]. В этих работах результаты решения применяются к описанию температурного поля при сварке с помощью газовых горелок и электрической дуги, а также для случаев лазерного и электронно-лучевого воздействий. Используемые в [1, 2] подходы можно использовать при постановке и решении задачи по определению температурных полей в твердом теле и применительно к плазменному нагружению. Поэтому была разработана вычислительная программа (язык FORTRAN), основанная на приведенных в [1, 2] решениях для нагружения полупространства. В программе выделены два режима воздействия – воздействие неподвижного и движущегося источников. Для неподвижного плазматрона рассмотрены два случая нагружения – равномерным по пятну нагружения тепловым потоком и неравномерным потоком, распределенным по гауссовому закону вдоль радиуса, перпендикулярного оси тепловой нагрузки (нормально-круговой поток). Для движущегося плазматрона рассмотрено действие источника с нормально-круговым потоком. Существенное различие рассматриваемых режимов заключается в том, что при неподвижном источнике температура во всех точках нагреваемого тела с ростом времени только увеличивается, стремясь к некоторой предельной, а для движущегося источника температурный цикл более сложен – температура нарастает от исходной до некоторого максимума, соответствующего периоду прохождения пятна нагрева на наиболее близких расстояниях от рассматриваемой точки тела, а затем уменьшается до уровня, несколько превосходящего исходный, причем позади источника всегда имеет место более высокая температура, чем перед ним (на одинаковом расстоянии от оси источника).

В [1, 2] для описания температурного поля движущегося источника используются подвижные координаты, смещенные вперед на определенное расстояние относительно положения оси нагрева, но в разработанной программе оси координат

выбраны неподвижными, так как это дает более наглядное представление о характере изменения температур в заданных к рассмотрению точках тела.

Радиальное распределение интенсивности нормально-кругового потока $q(r)$ с максимальным уровнем q_0 описывается выражением:

$$q(r) = q_0 \exp\left(-\frac{r^2}{r_f^2}\right) = q_0 \exp(-kr^2), \quad (1)$$

где r_f – эффективный радиус пятна нагрева, $k = \frac{B}{r_f^2}$ – коэффициент сосредоточенности

потока, который по данным [1,2] меняется в очень широких пределах – от десятых долей до величин 4-го порядка. Если принять $B=1$, то r_f – радиус границы потока на таком расстоянии от оси, где интенсивность потока падает в $e=2.72$ раза. Этот параметр является одной из наиболее важных характеристик при расчетах температурного поля, но ввиду его фактической неопределенности может быть установлен только косвенным образом путем сравнения расчетного поля с данными натурного эксперимента. Отметим, что в связи с особенностями теплообмена в струе на участке плазмотрон-поверхность радиус пятна нагрева и радиус ядра дуги плазмотрона значительно отличаются между собой. Сложность расчетного определения температур по [1, 2] связана также с использованием уравнений теплопроводности с постоянными коэффициентами (теплоемкость, плотность, теплопроводность, температуропроводность), что для интересующих температур точек тела от исходных до температур плавления является существенным. В связи с этим необходимо использовать некоторые осредненные значения теплофизических параметров, что создает дополнительные сложности при переходе от одного к другому материалу обрабатываемой среды. Возможность описания случаев с появлением в пятне нагрева ванны расплавленного материала в данном подходе не рассматривается. Таким образом, используемый расчетный метод определения температур требует соответствующей корректировки по экспериментальным данным применительно к конкретным материалам.

Электрическая мощность плазмотрона вычисляется по формуле:

$$P = \eta \cdot U \cdot I, \quad (2)$$

где η – коэффициент полезного действия; I – сила тока; U – напряжение.

Начало координат находится в исходном центре пятна нагрева на поверхности тела, ось x направлена по оси движения плазмотрона на поверхности тела, ось y – поперечная ось, ось z положительна по глубине тела.

Для неподвижного источника расчеты температуры $T(x, y, z, t)$ по координатам и времени производятся по формулам [1]:

а) Равномерный поток по пятну радиуса r_f :

– предельная поверхности температура в центре пятна нагрева ($t \rightarrow \infty$):

$$T(0, 0, 0, \infty) = \frac{q_0 r_f}{\lambda}; \quad (3)$$

– температура поверхности в центре пятна нагрева:

$$T(0, 0, 0, t) = 2 \frac{q_0}{\lambda} \sqrt{at} \left\{ 0.56419 - \text{ierfc}\left(\frac{r_f}{2\sqrt{at}}\right) \right\}; \quad (4)$$

– температура по оси z :

$$T(0,0,z,t) = 2 \frac{q_0}{\lambda} \sqrt{at} \left\{ \operatorname{ierfc}\left(\frac{z}{2\sqrt{at}}\right) - \operatorname{ierfc}\left[\frac{\sqrt{z^2 + r_f^2}}{2\sqrt{at}}\right] \right\}; \quad (5)$$

где q_0 – интенсивность (плотность) теплового потока; $\operatorname{ierfc}(x) = \frac{1}{\sqrt{\pi}} \exp(-x^2) - x \cdot \operatorname{erfc}(x)$ – интеграл от функции интеграла вероятности $\operatorname{erfc}(x) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^x \exp(-\xi^2) d\xi$; λ – коэффициент теплопроводности материала; c – удельная теплоемкость; ρ – плотность, T_{nn} – температура плавления, $a = \frac{\lambda}{c\rho}$ – коэффициент температуропроводности.

б) неподвижный нормально-круговой поток с коэффициентом сосредоточенности k :
– температура на расстоянии $r = \sqrt{x^2 + y^2}$ от центра пятна нагрева:

$$T(r,z,t) = \frac{2q_0}{c\rho(4\pi a)^{3/2}} \int_0^t \frac{\exp\left[-\left(\frac{z^2}{4a\tau} + \frac{r^2}{4a(t_0 + \tau)}\right)\right]}{\sqrt{\tau}(t_0 + \tau)} d\tau, \quad (6)$$

Нормально-круговой поток с коэффициентом сосредоточенности k , движущийся вдоль оси x со скоростью V (расчетное время $t \leq t_k$, $t_k < \infty$):

– температура $T(x_0, 0, z_0, t)$ по оси z в плоскости движения оси источника

$$T(x_0, 0, z_0, t) = \frac{2q_0}{c\rho(4\pi a)^{3/2}} \int_0^t \frac{\exp\left[-\left(\frac{z_0^2}{4a(t-\tau)} + \frac{(x_0 - V\tau)^2}{4a(t_0 + t - \tau)}\right)\right]}{\sqrt{t-\tau}(t_0 + t - \tau)} d\tau; \quad (7)$$

– температура $T(x_0, y_0, 0, t)$ на поверхности по ширине полосы нагрева:

$$T(x_0, y_0, 0, t) = \frac{2q_0}{c\rho(4\pi a)^{3/2}} \int_0^t \frac{\exp\left[-\frac{(x_0 - V\tau)^2 + y_0^2}{4a(t_0 + t - \tau)}\right]}{\sqrt{t-\tau}(t_0 + t - \tau)} d\tau; \quad (8)$$

– Температура $T(x_0, y_0, z_0, t)$ по оси z в плоскостях, параллельных координатной плоскости xOz (температура в произвольной точке тела):

$$T(x_0, y_0, z_0, t) = \frac{2q_0}{c\rho(4\pi a)^{3/2}} \int_0^t \frac{\exp\left[-\left(\frac{z_0^2}{4a(t-\tau)} + \frac{(x_0 - V\tau)^2 + y_0^2}{4a(t_0 + t - \tau)}\right)\right]}{\sqrt{t-\tau}(t_0 + t - \tau)} d\tau. \quad (9)$$

В (7)–(9) через τ обозначена переменная интегрирования, физически представляющая собой время, которое ограничивает длину зоны выделения тепла при движении источника со скоростью V от начала координат до некоторой точки с координатой x_0 на оси x . Появление константы t_0 в выражениях (7)–(9) связано с принятием некоторой аппроксимации температурного поля, использованной в [1, 2],

$t_0 = \frac{1}{4ak}$ – расчетная постоянная времени для данного материала.

Отметим, что на базе представления температуры в форме (9) можно определить границы объема материала, разогретого до заданной температуры.

Как видно из (7)–(9), текущий момент времени t , для которого должно быть проведено вычисление температуры, входит как в подинтегральное выражение, так и определяет верхний предел интегрирования, что представляет определенные сложности при разработке вычислительных процедур. Возможно, что в связи с этим в [1, 2] и используются подвижные координаты. Указанные интегралы вычислялись по методу Симпсона.

Расчет температурных полей проводился в образце из стали 45 при теплофизических характеристиках материала $\rho = 7600 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$, $\lambda = 30 \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{°C}}$, $c = 700 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{°C}}$, мощностях источника нагрева $P_0 = 100 - 500 \text{ Вт}$, $T_{\text{нл}} = 1550 \text{ °C}$, $t_k = 2 - 15 \text{ с}$, $r_f = 0,8 - 1,2 \text{ мм}$ и скорости движения плазмотрона $V = 5 - 15 \text{ мм/с}$.

На рис.1 показан рост температуры $T(0,0,z,t)$ по центру струи на поверхности и в глубину тела при равномерном потоке (а) и по центру струи на поверхности тела при нормально-круговом потоке (б) за время $0 - 2 \text{ с}$.

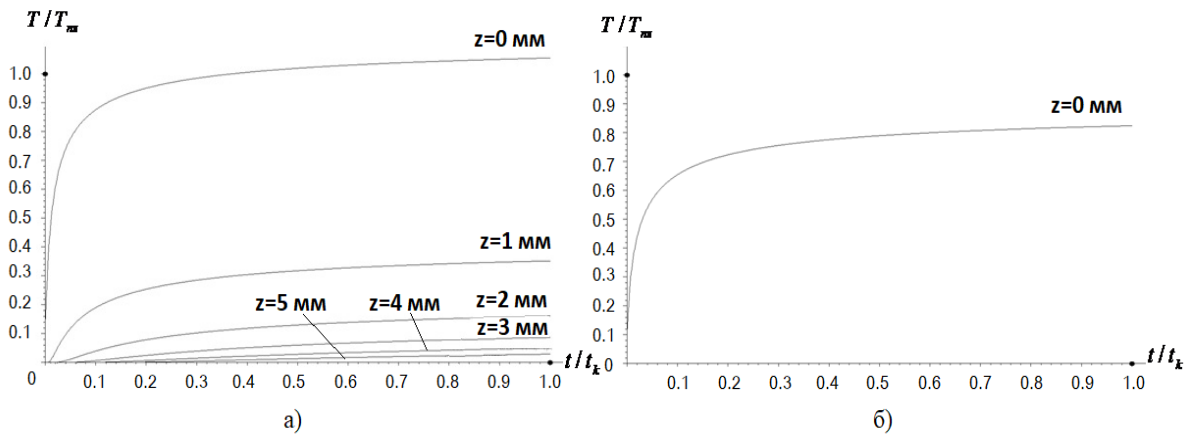
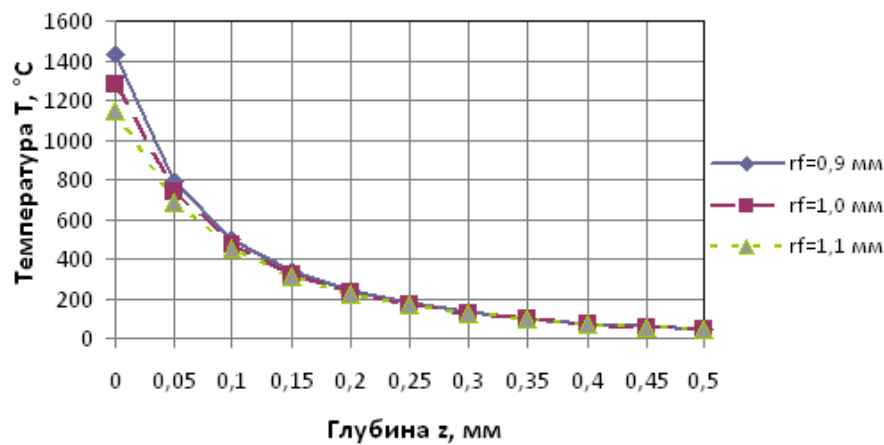
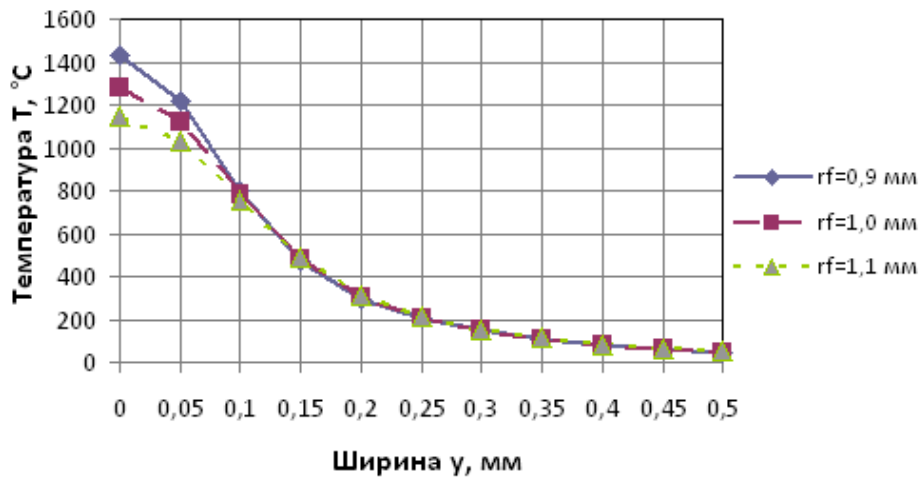


Рис. 1. Зависимости безразмерной температуры $T/T_{\text{нл}}$ на поверхности в центре пятна нагрева и по глубине от безразмерного времени t/t_k при действии равномерно-распределенного по диаметру пятна нагрева (а) и нормально-кругового потока (б) $P_0 = 150 \text{ Вт}$, $t_k = 2 \text{ с}$, $r_f = 0,9 \text{ мм}$

На рис. 2 построены зависимости температуры от глубины и ширины при нагреве движущимся нормально-круговым источником.



а)



б)
Рис. 2. Распределение температурного поля по радиусу (а) и по глубине (б) для различных радиусов пятна нагрева в момент времени $t = t_k = 2$ с, $P_0 = 150$ Вт

На рис. 3 показан процесс изменения температуры в трех точках оси x , расположенных на расстоянии 50 мм друг от друга в течение первых 15 с от начала движения струи плазмотрона при шаге выдачи результата $\Delta t = 0,1$ с.

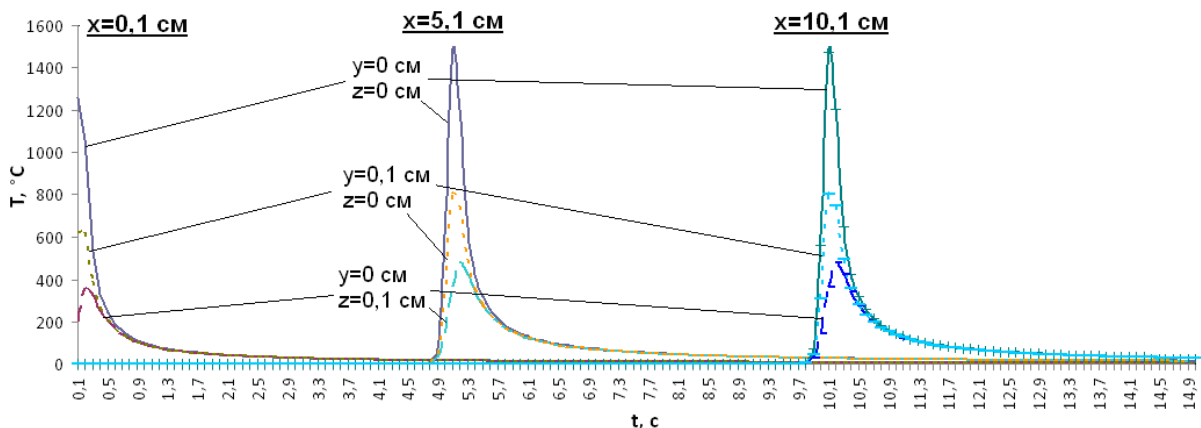


Рис. 3. Температура в различных точках по глубине и ширине стали 45 ($z=0; 0,1$ см) и на поверхности по ширине зоны нагрева ($y=0; 0,1$ см) за время $0 \leq t \leq t_k$, $t_k = 15$ с, $P_0 = 250$ Вт, $V = 10$ см/с

По графикам несложно оценить время, в течение которого температура в выбранных точках будет превышать некоторую заданную. Отмеченной особенностью расчетов в зоне максимальных температур является необходимость выбора достаточно мелкого шага по времени. При этом обращает на себя внимание практическая независимость максимальных температур нагрева в точках, удаленных от исходной ($x=0$), поэтому фактически расчет может быть произведен для какой-либо одной достаточно удаленной от начальной точки, что позволит значительно сократить общее время счета. Форма представления результатов может быть легко изменена.

Список литературы: 1. Лазерная и электронно-лучевая обработка материалов: Справочник / Н. Н. Рыкалин, А. А. Углов, И. В. Зуев, А. Н. Кокора. – М.: Машиностроение, 1985. – 496 с. 2. Рыкалин Н.Н. Расчеты тепловых процессов при сварке / Н. Н. Рыкалин. – М.: ГНТИ машиностроительной литературы, 1951. – 296 с.

СОЗДАНИЕ НОВЫХ СХЕМ ФОРМООБРАЗОВАНИЯ ЗУБЧАТЫХ ВИНТОВЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ

Витренко В.А., Ефимов А.А., Михайлова А.Д., Колесников Д.А. (ЛГУ им. В. Даля, г.
Луганск, ЛНР)

Тел./Факс: + 38 (0642) 341826; E-mail: vitrenko.vl@gmail.com

Abstract: *The article investigates the development of basically new schemes of helical gear surfaces in space machine-tool engagement. Shape formation of surface is performed by shank and disk gear cutters according to the third class schemes of shape formation.*

Keywords: *helical gear wheels, instrument, scheme of formation, machine-tool engagement, productivity, accuracy.*

Во многих сферах производства ощущается огромная потребность в механизмах, способных передавать винтовое вращение между пересекающимися в пространстве осями. Большинство выпускаемых машин выходят из строя, проработав небольшой интервал времени. Такое положение объясняется точечным характером касания зубьев сопрягаемых зубчатых колес [1,2]. Точечный характер касания между зубьями спроектированной передачи объясняется тем, что винтовое зубчатое колесо изготавливается в плоском станочном зацеплении, а в механизме такое зубчатое колесо работает в пространственном станочном зацеплении.

В представленной работе исследуемая винтовая зубчатая поверхность изготавливается в пространственном станочном зацеплении на заготовке сложной геометрической формы. Изготовление таких зубчатых поверхностей осуществляется при помощи стандартных дисковых и концевых зубчатых фрез путем их перемещения вдоль прямолинейной образующей заготовки однополостного гиперболоида.

Стандартные способы формообразования винтовых зубчатых поверхностей, как правило, осуществляются на стандартном зубофрезерном оборудовании. Очень сложной при создании такой зубчатой поверхности является настройка зубофрезерного станка. В настоящее время не получается нарезать сложные винтовые поверхности с использованием протяжного суппорта. Особо сложной нарезкой винтовых зубчатых поверхностей является нарезка при одновременной подаче режущего инструмента с одновременным использованием осевой и тангенциальной подач. В этом случае, нарезаемая поверхность имеет низкую точность, требует дальнейшей чистовой обработки, разработки и внедрения принципиально новых методов шлифования или других методов чистовой обработки поверхности. Для создания новых схем формообразования и принципиально нового инструмента необходимо изучить геометрию и кинематику процесса формообразования, разработать геометрические и кинематические параметры процесса, провести их анализ.

При разработке схемы формообразования винтовых зубчатых поверхностей в качестве станочного оборудования использовались вертикально фрезерный и горизонтально фрезерный станки с ЧПУ. В первом случае нарезание винтовой зубчатой поверхности осуществлялось при помощи стандартной концевой (пальцевой) фрезы, во втором случае при помощи дисковой модульной фрезы. Основное движение резания осуществлялось вдоль прямолинейной образующей винтового зубчатого колеса. При использовании ЧПУ формообразующий инструмент при помощи двух подач перемещался вдоль прямолинейной образующей, методом обкатки нарезал впадину между зубьями искомого винтового зубчатого колеса. Процесс нарезания не являлся высокопроизводительным, так как приходилось нарезать каждую впадину в

отдельности. Чем больше зубьев имело винтовое зубчатое колесо, тем более трудоемким оказывался процесс нарезания. Для нарезания отдельных впадин винтовых зубчатых колес использовалась стандартная делительная головка. Схема формообразования винтовых зубчатых колес представлена на рисунке 1.

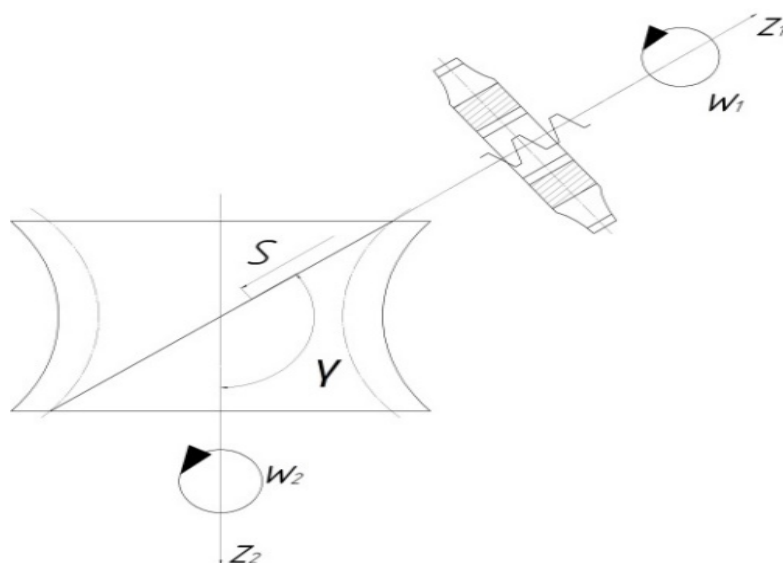


Рис.1. Схема формообразования винтовой зубчатой поверхности.

В промышленности изготовленные по представленной схеме формообразования винтовые зубчатые поверхности, образуют винтовую зубчатую пару с цилиндрическими прямозубыми или косозубыми зубчатыми колесами. В этом случае станочное зацепление в сопрягаемой паре полностью совпадает со станочным зацеплением, описываемым разработанной схемой формообразования.

Процесс изготовления зубчатых винтовых поверхностей очень сложный, трудоемкий, поэтому необходимо разработать геометрические и кинематические параметры изготовления винтовых зубчатых поверхностей [3,4]. При помощи этих параметров можно выполнить оценку качества изготовления таких винтовых зубчатых поверхностей, а также оценить работоспособность винтовых зубчатых пар, в которые входят такие зубчатые поверхности. Такое положение позволяет в значительной степени сократить объем дорогостоящих экспериментальных исследований. В работе найдены следующие геометрические и кинематические показатели:

1. Относительная скорость скольжения, представляющая собой главное движение резания при применении разработанной схемы формообразования. Изменяя геометрию и кинематику процесса формообразования, можно управлять относительной скоростью скольжения. В представленной работе относительная скорость скольжения найдена в следующем виде:

$$[V^{(12)}]^2 = [-((x_1 - r) \sin \phi_1 + y_1 \cos \phi_1)(1 - u_{21} \cos \gamma) + Au_{21} \cos \gamma (y_1' \sin \phi_1 - x_1' \cos \phi_1) - (1 - u_{21} \cos \gamma)(y_1 y_1' + x_1'(x_1 - r))] / [y_1' \cos \phi_1 + x_1' \sin \phi_1 + [((x_1 - r) \cos \phi_1 - y_1 \sin \phi_1)(1 - u_{21} \cos \gamma) - Au_{21} \cos \gamma] - [((x_1 - r) \cos \phi_1 - y_1 \sin \phi_1 + A)u_{21} \sin \gamma]. \quad (1)$$

2. Скорость перемещения контактирующих поверхностей в направлении, перпендикулярном линии контакта. От этого кинематического параметра зависит качество процесса нарезания витков между зубьями. Суммарная скорость в данном

исследовании определена как сумма скоростей точек контактирующих зубчатых поверхностей:

$$\begin{aligned}\vec{U} &= \vec{V}^{(1)} + \vec{V}^{(2)} = \frac{\partial F}{\partial \phi_1} [\vec{q} \times \vec{n}_1] |\vec{N}| / \left[\left(\frac{\partial \vec{r}_1}{\partial v} \vec{q} \right) \frac{\partial F}{\partial \psi} - \left(\frac{\partial \vec{r}_1}{\partial \psi} \vec{q} \right) \frac{\partial F}{\partial v} \right] + \\ &+ \frac{\partial F}{\partial \phi_1} [\vec{q} \times \vec{n}_1] |\vec{N}| / \left[\left(\frac{\partial \vec{r}_1}{\partial v} \vec{q} \right) \frac{\partial F}{\partial \psi} - \left(\frac{\partial \vec{r}_1}{\partial \psi} \vec{q} \right) \frac{\partial F}{\partial v} \right] + \vec{V}^{(12)} = \\ &= 2 \frac{\partial F}{\partial \phi_1} [\vec{q} \times \vec{n}_1] |\vec{N}| / \left[\left(\frac{\partial \vec{r}_1}{\partial v} \vec{q} \right) \frac{\partial F}{\partial \psi} - \left(\frac{\partial \vec{r}_1}{\partial \psi} \vec{q} \right) \frac{\partial F}{\partial v} \right] + \vec{V}^{(12)}.\end{aligned}\quad (2)$$

На рисунке 2 показана зависимость изменения суммарной скорости перемещения контактирующих поверхностей в зависимости от их геометрии.

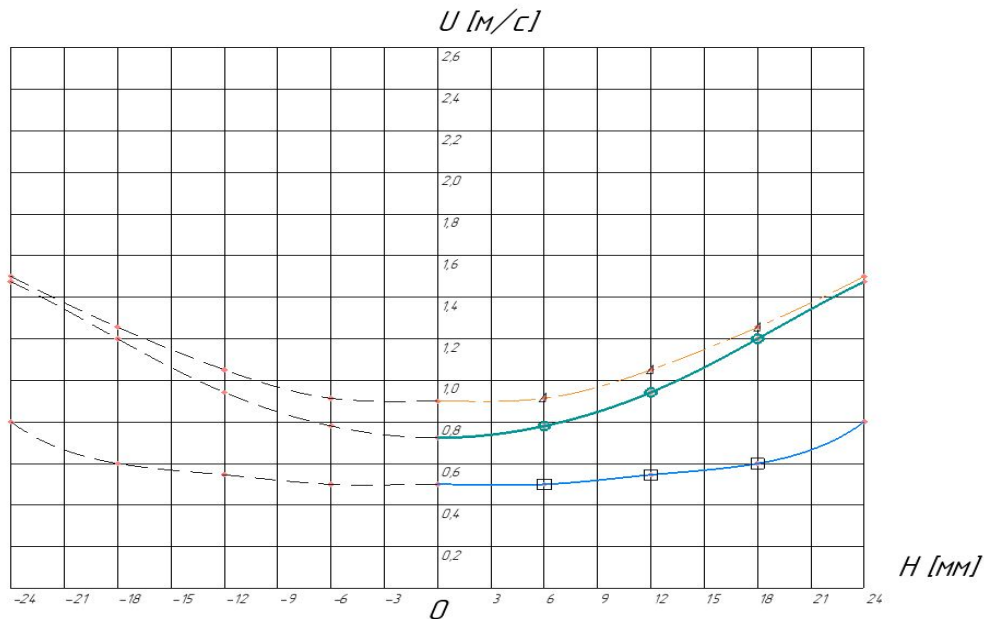


Рис.2. График изменения суммарной скорости перемещения контактирующих поверхностей. Δ – $z_1 = 50, z_2 = 20, dd = 70$ мм; \circ – $z_1 = 50, z_2 = 18, dd = 80$ мм \square – $z_1 = 50, z_2 = 14, dd = 64$ мм

3. При нарезании винтовых зубчатых поверхностей особое значение уделяется углу между вектором скорости скольжения и направлением линий контакта. Чем меньше этот угол, тем более интенсивнее процесс нарезания зубьев. Угол между вектором скорости скольжения и направлением линий контакта найден в следующем виде:

$$\begin{aligned}tgV_r &= \left\{ -\frac{\partial F}{\partial \psi} \left(\frac{\partial \vec{r}_1}{\partial \psi}, \vec{V}^{(12)} \right) [(x_1')^2 + (y_1')^2] - \frac{\partial F}{\partial v} \left(\frac{\partial \vec{r}_1}{\partial v}, \vec{V}^{(12)} \right) \right\} / \\ &/ \left[\frac{\partial F}{\partial v} \left(\frac{\partial \vec{r}_1}{\partial \psi}, \vec{V}^{(12)} \right) - \frac{\partial F}{\partial \psi} \left(\frac{\partial \vec{r}_1}{\partial v}, \vec{V}^{(12)} \right) \right] \sqrt{(x_1')^2 + (y_1')^2}.\end{aligned}\quad (3)$$

4. Одним из наиболее значимых геометрических показателей являются контактные линии. От их расположения зависит работоспособность винтовой зубчатой передачи. Длина контактных линий определена по следующей зависимости:

$$(ds)^2 = (d\vec{r}_1)^2 = \left(\frac{\partial \vec{r}_1}{\partial v} dv + \frac{\partial \vec{r}_1}{\partial \psi} d\psi \right)^2 = \left(\frac{\partial \vec{r}_1}{\partial v}, \frac{\partial \vec{r}_1}{\partial v} \right) dv^2 +$$

$$+2 \left(\frac{\partial \vec{r}_1}{\partial v}, \frac{\partial \vec{r}_1}{\partial \psi} \right) dv d\psi + \left(\frac{\partial \vec{r}_1}{\partial \psi}, \frac{\partial \vec{r}_1}{\partial \psi} \right) d\psi^2. \quad (4)$$

5. Приведенная кривизна винтовых зубчатых поверхностей в направлении, перпендикулярном линиям контакта влияет на характер работы зубчатой передачи. От величины зависит величина пятна контакта, а следовательно, и износ сопрягаемых зубьев. Зависимость для определения величины приведенной кривизны представлена в следующем виде:

$$K_{pr} = \frac{\left[((x_1)^2 + (y_1)^2)(F\psi)^2 + (Fv)^2 \right] \frac{1}{\sqrt{((x_1)^2 + (y_1)^2)}}}{((x_1)^2 + (y_1)^2) F \phi_1 - Fv(V^{(12)}, r_1^v) - F\psi((x_1)^2 + (y_1)^2)(V^{(12)}, r_1^\psi)}. \quad (5)$$

6. Удельные скольжения на зубьях сопрягаемых зубчатых колес характеризуют их износ в процессе эксплуатации. В исследуемой винтовой зубчатой паре удельные скольжения должны быть минимальными. Удельные скольжения определяются в следующем виде:

$$\eta_1 = \left\{ - \left(\vec{V}^{(12)}, \frac{\partial \vec{r}_1}{\partial \psi} \right) [(x_1)^2 + (y_1)^2] \frac{\partial F}{\partial \psi} - \left(\vec{V}^{(12)}, \frac{\partial \vec{r}_1}{\partial v} \right) \frac{\partial F}{\partial v} \right\} / \frac{\partial F}{\partial \phi_1} [(x_1)^2 + (y_1)^2]$$

$$\eta_2 = 1 - \left\{ \frac{\partial F}{\partial \phi_1} [(x_1)^2 + (y_1)^2] \right\} / \left\{ \frac{\partial F}{\partial \phi_1} [(x_1)^2 + (y_1)^2] - \left(\vec{V}^{(12)}, \frac{\partial \vec{r}_1}{\partial \psi} \right) [(x_1)^2 + (y_1)^2] \frac{\partial F}{\partial \psi} - \left(\vec{V}^{(12)}, \frac{\partial \vec{r}_1}{\partial v} \right) \frac{\partial F}{\partial v} \right\}. \quad (6)$$

Проведя анализ геометрических и кинематических параметров станочного зацепления разработанных винтовых зубчатых колес удалось спроектировать и изготовить различные по геометрии винтовые зубчатые колеса, представленные на рисунке 3.



Рис.3. Спроектированные винтовые зубчатые поверхности.

Разработанное станочное зацепление винтовой и цилиндрической зубчатых поверхностей имеют линейный характер зубьев при любом передаточном отношении. Получила дальнейшее развитие теория и практика формообразования винтовых зубчатых поверхностей.

Список литературы: 1. Гавриленко В.А. Зубчатые передачи в машиностроении – М.: Машгиз, 1962. – 531 с. 2. Иноземцев Г.Г. Проектирование металлорежущих инструментов – М.: Машиностроение, 1984. – 272 с. 3. Литвин Ф.Л. Теория зубчатых зацеплений – М.: Наука, 1968, 584 с. 4. Цвис Ю.В. Профилирование режущего обкатного инструмента – М. Машгиз, 1961–155 с.

ИССЛЕДОВАНИЯ МИКРОСТРУКТУРЫ ВЫСОКОПРОЧНОГО ЧУГУНА ПОСЛЕ ЛАЗЕРНОЙ И ПЛАЗМЕННОЙ ОБРАБОТКИ

Голубев В.С.¹, Вегера И.И.¹, Гуринович В.И.¹, Дробышевский П.С.²

(¹Физико-технический институт НАН Беларуси, г. Минск, Беларусь;

²ОАО «Гомсельмаш», г. Гомель, Беларусь)

Тел.: +375 (029) 6381950, E-mail: gvs_fti@mail.ru

***Abstract:** Comparative studies of the microstructure of the surface layers of high-strength cast iron, as a result of laser and plasma exposure have been carried out. Processing with concentrated heat sources leads to the formation of layered structures on the surface: melting zones, heat-affected zones, as well as transitional layers containing a mixture of structures of adjacent zones. Rapid crystallization of the melt, both during laser and plasma treatment, leads to the refinement of structural components, which provides increased hardness (~ up to 60-68 HRC) without cracking. Under the conditions of these experiments during laser processing, the dispersity of structural components is higher than after plasma exposure. During plasma treatment, deeper layers (reaching 1 mm) are formed with a hardness of 9500-10000 МПа. During laser processing, the depth of the hardened layers is less (about 0.5-0.8 mm), and the hardness is higher (up to 11,000 МПа*

***Key words:** ductile iron, laser and plasma processing, surface layer, microstructure, microhardness*

Введение. В настоящее время решение проблемы повышения надежности и долговечности невозможно только за счет применения дорогостоящих высоколегированных сталей и сплавов, и обусловлено это, в первую очередь, экономическими причинами. Гораздо более эффективно использование обычных марок углеродистых сплавов и чугунов с последующим упрочнением рабочих поверхностей изделий различными методами, в том числе с использованием лазерного излучения и плазменного воздействия.

Указанные технологии сегодня используются для упрочнения широкой гаммы деталей, в том числе деталей сельскохозяйственной техники, изготовленных из различных материалов [1-4]. В частности, они могут быть применены к таким деталям, как наконечники анкерных сошников, изготавливаемых из чугуна марки ВЧ 50, измельчающие ножи кормоуборочных комбайнов, изготавливаемых из высокопрочного бейнитного чугуна и др. Сошники, например, - это детали зерновых рядных универсальных сеялок, предназначенные для формирования в почве бороздок для последующего посева семян на заданную глубину. В процессе погружения в почву сошники испытывают главным образом абразивный износ и, в меньшей степени, коррозионный. Для увеличения срока службы сошника необходима высокая износостойкость, причем это важно не для всей детали, а лишь для той поверхности, которая непосредственно погружается в почву. Что касается измельчающих ножей кормоуборочных комбайнов, то на их рабочей поверхности как правило создается износостойкий слой с толщиной всего лишь ~ 0,2 мм.

В целом, высокопрочный чугун характеризуется рядом технологических преимуществ по сравнению с другими литейными материалами. В частности, он имеет высокую жидкотекучесть, малую линейную усадку, что позволяет изготавливать тонкостенные отливки сложной конфигурации. Кроме хороших литейных характеристик он хорошо обрабатывается резанием, имеет высокие антифрикционные

свойства. Это позволяет изготавливать из него детали двигателей и машин, работающих в условиях трения. Способность ВЧ чугунов к гашению колебаний обеспечивает их применение как конструкционных материалов для корпусов машин.

С разработкой технологий лазерного и плазменного упрочнения и созданием соответствующего оборудования возрос интерес к особенностям структурообразования различных классов материалов [5-7]. В этом ряду одним из интересных направлений представляется исследование структурообразования такого многофазного и гетерогенного по структуре материала как высокопрочный чугун.

Материалы и методы исследований. В данной работе выполнены сравнительные исследования воздействия лазерной и плазменной обработки поверхности высокопрочного чугуна с целью повышения износостойкости. В качестве материала для исследований использовали высокопрочный чугун марки ВЧ 50 (ГОСТ 7293-85). Образцы для металлографических и дюрOMETрических исследований вырезали непосредственно из деталей из высокопрочного чугуна, подвергнутых плазменному и лазерному воздействию. Размеры образцов составляли приблизительно 20x20x10мм.

Лазерную обработку с оплавлением поверхности проводили на CO₂-лазере «Комета -2» мощностью ~ 1 кВт, плазменную обработку осуществляли с оплавлением поверхности используя установку «Киев - 4 М» с модернизированным плазмотроном ВПР – 15. При различных режимах обработки получали оплавленные слои разной глубины (после лазерной обработки до 0,5 мм, плазменной – до 1 мм).

Структурные исследования проводились на металлографическом комплексе МГК-1 и световом микроскопе «Neophot», микротвердость определялась на приборе «Duramin 5», а также на приборе ПМТ-3 под нагрузкой 100 г. Для выявления микроструктуры использовали стандартный травитель «ниталь»: 4% - ный раствор HNO₃ в этиловом спирте.

Результаты исследований и обсуждение. Микроструктура чугуна в исходном (литом) состоянии представляла собой феррито-перлитную металлическую матрицу с включениями графита округлой формы. При этом перлит располагается вокруг графитных включений (в виде своеобразной оторочки) и на стыках бывших аустенитных зерен. Данное расположение составляющих (графит, сразу за ним - перлит и только затем феррит) является обычным для модифицированных чугунов и свидетельствует об ускоренной кристаллизации отливки в результате достаточно большого переохлаждения при модифицировании. ДюрOMETрические измерения показали следующие результаты: микротвердость феррита ~ 980-1000 МПа, твердость перлита ~ 3500 МПа (~ 36-38 HRC).

После обработки концентрированными источниками энергии с оплавлением поверхности в обоих случаях в микроструктуре условно можно выделить три основные зоны, а именно, зону оплавления, зону термического влияния и зону основного металла. Между ними существуют переходные слои, в которых присутствует смесь структурных составляющих смежных зон с постепенным переходом друг в друга и соответствующими количественными изменениями фаз (Рис. 1).

Как при лазерной, так и при плазменной обработке на поверхности получали оплавленные слои чугуна исходного состава, которые при быстром охлаждении кристаллизовались по метастабильной системе с образованием структур, состоящих из дендритов первичного аустенита и ледебурита без видимых включений графитной фазы.

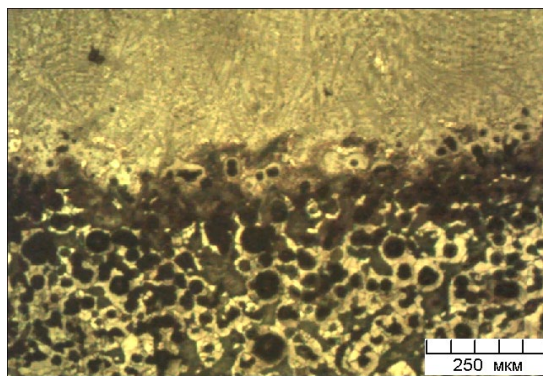


Рис.1. Характерная микроструктура чугуна ВЧ-50 после лазерной/плазменной обработки в режиме оплавления, х 100

Твердость структурных составляющих в оплавленном слое изменялась по глубине в сторону уменьшения и существенно зависела от удельной мощности обработки. При лазерной обработке удельная мощность нагрева выше, что приводит к перегреву оплавленного слоя, а соответственно к увеличению степени пересыщения расплава углеродом. Вследствие этого, а также больших скоростей охлаждения наблюдаются повышение дисперсности структурных составляющих и степени искаженности кристаллической решетки твердого раствора, что в свою очередь приводит к повышению твердости слоя. При лазерной обработке твердость оплавленного слоя достигала ~ 11000 МПа, при плазменном оплавлении - 9500 - 10000 МПа.

Закономерности образования и расположения структурных зон, как при лазерной, так и при плазменной обработке аналогичны. Аналогичны также закономерности формирования структуры в слоях зон. Различия заключаются лишь в том, что при лазерной обработке размеры дендритных ячеек, превращенных в мартенсит, первичных кристаллов аустенита и ледебуритных колоний в структуре оплавленного слоя мельче, а протяженность зон термического влияния и переходных слоев между зонами меньше.

Из рисунка 1 видно также, что границы оплавления в обоих случаях неровные. В их структуре наблюдаются мартенсит, графит и ледебурит в виде внедренных в основу скругленных образований, иногда с графитными включениями внутри. Процесс образования выступающих округлых объемов при обработке с оплавлением поверхности связан с диффузионными процессами. Они следующие: растворение графитных включений, насыщение близлежащих объемов углеродом и снижение температуры плавления твердого раствора около них.

Тепловой поток от оплавленного слоя, распространяющийся перпендикулярно поверхности оплавления, является источником постепенного прогрева нижележащих объемов металла. Температура прогрева обуславливает формирование зон термического влияния и их параметров (глубину, твердость, степень превращения твердого раствора, распределение структурных составляющих). Максимальную температуру нагрева имеют участки, непосредственно соприкасающиеся с металлом расплава. В нижерасположенных слоях температура снижается по мере удаления от оплавленной поверхности.

Непосредственно под оплавленной зоной происходит перекристаллизация аустенита в твердом состоянии с образованием структур, соответствующих температуре прогрева слоя. Другими факторами, оказывающими влияние, являются время пребывания при этой температуре и концентрация углерода в аустените. Граница

раздела между зоной оплавления и зоной термического влияния имеет неявно выраженный характер (Рис.1). Четкая линия раздела отсутствует, и участки расплавленных зон местами внедряются в переходную зону. На границе раздела расплава с подложкой в структуре переходной зоны наблюдается мартенсит игольчатой формы, графит и области ледебуритной эвтектики. Причем области ледебуритной эвтектики представляют собой продолжение оплавленного слоя в виде скругленных участков. Эти участки ограничивают места, где ранее располагались графитные включения, которые при нагреве успели раствориться, обогатив аустенит углеродом. Кроме того, присутствуют также скругленные участки с частично растворенными графитными включениями (оставшимися из числа наиболее крупных). Они также внедрены в мартенсит и расположены в местах, где температуры и продолжительности выдержки было недостаточно для полного растворения включения. Твердый раствор непосредственно под оплавленной поверхностью состоит из игольчатого мартенсита и некоторого количества остаточного аустенита. Ниже располагается слой, состоящий из смеси игольчатого мартенсита, бейнита и некоторого количества остаточного аустенита. Твердость игольчатого мартенсита $\sim 7750-5000$ МПа ($\sim 61 - 48$ HRC), бейнита - $\sim 4500 - 3750$ МПа ($\sim 44 - 39$ HRC). Глубже расположена область, где превалирует перлитная основа с твердостью $\sim 3470-3200$ МПа ($\sim 36-33$ HRC) и графит.

При лазерной обработке в микроструктуре перекристаллизованной смеси мартенситов находится большая доля бесструктурного слаботравящегося блочного мартенсита (он имеет более светлую окраску). Это объясняется тем, что в этом случае выше температура нагрева расплавленного слоя. Выше она и в подслое, соответственно, больше степень пересыщения твердого раствора углеродом. В зоне термического влияния формирование структур металлической матрицы вокруг включений графита подчиняется тем же закономерностям, что и в металлической матрице основы. Некоторые изменения в эти закономерности вносят следующие факторы: температура нагрева слоя, место расположения конкретного включения, концентрация растворенного углерода, размер включения. Оказывают также влияние параметры обработки (скорость нагрева и охлаждения) и теплопроводность.

Под границей оплавления непосредственно около графитных включений наблюдаются тонкие перлитные ободки с твердостью ~ 4300 МПа. Они образовались, вероятно, вследствие того, что часть растворенного при нагреве углерода при последующем охлаждении успевает диффундировать к включению и отложиться на нем в виде графита как на готовом центре кристаллизации. Иногда за тонким перлитным ободком следует слой ледебурита, где растворенный при нагреве углерод выделяется в соответствии с метастабильной диаграммой. Такой ободок образуется после перекристаллизации аустенита в твердом состоянии из-за частичного растворения графитного включения и повышения концентрации углерода в некотором объеме, прилегающем к данному включению. Чем дальше графитное включение удалено от границы оплавления, тем меньше вероятность образования ледебуритных ободков вокруг него и большая вероятность распада аустенита по стабильной системе железо-углерод с образованием феррита и графита.

В случае лазерной обработка с увеличением удельной мощности высокоэнергетического воздействия существует большая вероятность переохлаждения. Следовательно, более вероятна перекристаллизация твердого раствора по метастабильной системе. При плазменной обработке скорость нагрева металла ниже, время прогрева слоев до той же температуры удлиняется (аналогично увеличению времени выдержки при нагреве). Вероятность перекристаллизации твердого раствора по метастабильной системе в этом случае меньше. Если в структуре присутствуют готовые центры кристаллизации в виде графитных включений, как правило, углерод

откладывается на них, а феррит образует ободки вокруг. Структура становится перлитно - графитной, а еще глубже превращается в перлитно - феррито – графитную, все ближе приближаясь к исходной.

В конечном итоге лазерная технология упрочнения была применена к измельчающим ножам кормоуборочных машин, изготовленных из высокопрочного чугуна, обработанного путем изотермической выдержки в расплавленной соляной ванне на бейнитную структуру. Варьируя различными значениями мощности, скорости сканирования, размерами лазерного пятна и параметрами наложения упрочняемых дорожек, получены глубины отбеленного слоя порядка 0,25-0,3 мм с твердостью – 67-68 HRC, глубины перекристаллизованного слоя – 0,5-0,7 мм. Твердость в перекристаллизованном слое колеблется в интервале 7000-8000 МПа (60-64) HRC. В результате проведения стендовых ускоренных испытаний, моделирующих износ образцов опытных ножей кормоуборочных комбайнов по методике ЛИИ ОАО «Гомсельмаш», установлено, что лазерная закалка приводит к повышению абразивной износостойкости ножей из бейнитного высокопрочного чугуна ВЧТГ в 1,5-2 раза.

Заключение. На основании проведенной работы были сделаны следующие выводы:

1. Обработка высокопрочного чугуна концентрированными источниками нагрева (лазерными и пламенными) приводит к формированию слоистых структур на поверхности. Можно выделить зоны оплавления, термического влияния, а также переходные слои, содержащие смесь структур смежных зон.

2. Быстрая кристаллизация расплава, как при лазерной, так и при плазменной обработке приводит к измельчению структурных составляющих, что обеспечивает повышенную твердость (~ до 60-68 HRC) причем без образования трещин. Дополнительным фактором повышения эксплуатационных характеристик является перекристаллизация пересыщенных твердых растворов аустенита, нагретых выше A_{c1} (в зоне термического влияния), что увеличивает глубину упрочненного слоя.

3. В условиях данных экспериментов при лазерной обработке дисперсность структурных составляющих выше, чем после плазменного воздействия.

4. При плазменной обработке образуются более глубокие слои (достигающие 1 мм) с твердостями 9500-10000 МПа. При лазерной обработке – глубина упрочненных слоев меньше (порядка 0,5-0,8 мм), а твердость выше (до 11000 МПа).

Список литературы: 1. Повышение работоспособности деталей рабочих органов сельскохозяйственных машин / И.Н. Шило., Г.Ф. Бетенья, Л.А. Маринич, В.С. Голубев и др. – Минск: БГАТУ, 2010. – 320 с. 2. Лазерные технологии в машиностроении и металлообработке. / С.А. Астапчик, В.С. Голубев, А.Г. Маклаков. – Минск: Изд. «Беларуская навука», 2008. – 252с. 3. Поверхностное упрочнение чугуна электродуговой плазмой / А.В. Орлович, А.С. Трытек, В.В. Шевеля. – Киев–Хмельницкий, 2008. – 108с. 4. Плазменное поверхностное упрочнение / Л.К. Лещинский, С.С. Самотугин, И.И. Пирч, В.И. Комар. – Киев: Техника, 1990. – 109с. 5. Технологические процессы лазерной обработки / А.Г. Григорьянц, И.Н. Шиганов, А.И. Мисюрков; под общ. ред. А.Г. Григорьянца. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2008. – 664с. 6. Сравнительные исследования микроструктуры высокопрочного чугуна после лазерной и плазменной обработки./ Гуринович В.И., Голубев В.С., Покровский А.И., Романчук И.А., Соловей Н.Ф. // Научно-произв. журнал «Литье и металлургия» – Минск, БНТУ, 2012 – 2(65), с.134-138. 7. Повышение износостойкости бейнитного высокопрочного чугуна при лазерной обработке. / Голубев В.С., Гуринович В.И., Псырков Н.В., Чумак Д.С., Колупаев Ю.А. // В сб. межд. н.-т. конф. «Современные методы и технологии создания и обработки материалов» – Минск, ФТИ НАН Беларуси, 2014 – кн.2, с.123-129.

ИССЛЕДОВАНИЯ ТЕПЛОВЫХ ДЕФОРМАЦИЙ СТОЛА 3D ПРИНТЕРА

Горобец И.А., Лахин А.М., Жарких Д.С., Киселица Д.И.

(ФГБОУ ВО «ДонНТУ», г. Донецк, ДНР, РФ)

E-mail: igor.gorobets2022@yandex.ru

Abstract: *Thermal deformations in the field of 3D printing are investigated in the work. The regularities of distribution of the temperature field over the surface of the table, as well as its influence on the accuracy of the resulting product, have been established.*

Keywords: *3D printing, accuracy, FDM technology, quality*

Перспективным направлением развития технологий машиностроения в настоящее время является использование аддитивных технологий (от англ. Additive Fabrication), совершенствование конструкций реализации 3D-печати. В настоящее время существует много разновидностей 3D-печати, к которым можно отнести: SLM (Selective Laser Melting – селективное лазерное плавление металлического порошка), SLA (Laser Stereolithography – послойное затвердевание жидкого материала под воздействием лазера), SLS (Selective Laser Sintering – послойное лазерное спекание порошковых материалов), FDM (Fused Deposition Modeling – послойное наплавление пластиковой нити), LCD (Liquid Crystal Display – послойная фотополимерная печать с засветкой светодиодной ультрафиолетовой матрицей) и другие [1,2,3].

Интерес представляет наиболее применимая в настоящее время FDM-технология печати изделия из нити – филамента, обладающей следующими свойствами: ударопрочность, износостойкость, термоустойчивость, ударная вязкость, гибкость, прочность, стойкость на растяжение и изгиб, долговечность. К таким филаментам относятся: PLA, ABS, PETG, TPU, PC, нейлон и др. [1, 4].

Схемы конструкций современного 3D-принтера для FDM печати, в зависимости от движения экструдера, реализуют картезианский или полярный принцип печати. Все конструктивные исполнения принтера снабжены столом, на котором располагается выращиваемое изделие. Поскольку филамент в процессе печати изделия нагревается экструдером, то само генерируемое изделие также находится в разогретом состоянии с температурой до 250⁰С. При этом изделие должно, с одной стороны, иметь хорошие показатели адгезии с рабочей поверхностью стола, а с другой – беспрепятственно удаляться со стола принтера после печати. Одной из распространённых проблем, возникающих при моделировании посредством 3D-печати, является быстрое остывание изготавливаемых деталей с внешних сторон. Если формируемая модель попадает на не нагретую поверхность, ее нижний слой и края подвергаются охлаждению ещё до завершения печати. В результате эти области немного сжимаются в объёме, из-за чего деталь начинает отслаиваться от поверхности стола и выгибаться. При таком короблении изделия неизбежно появляются и погрешности в геометрических формах объекта производства.

Рассмотрим особенности конструкции стола принтера. Стол 3D-принтера представляет собой конструкцию, состоящую из основания, нагревательного элемента и слюдяной пластины, рабочей поверхности, рис.1. Платформа стола 1 установлена на горизонтальных направляющих 6. На платформе 1 расположен алюминиевый лист 2 на котором предусматривается установка слюдяной пластины 3 и силиконовый нагреватель 4. Для лучшей адгезии печатаемого материала и облегчённого снятия готовых изделий на нагреваемую поверхность наклеивается каптоновая лента 5.

Целью исследований является изучение распространения теплового поля стола 3D-принтера. Исследования проводились для стола со следующими характеристиками: диаметр – 500 мм; толщина – 10 мм, материал площадки – алюминий. Общее время исследования распространения тепла – 8 мин. Для проведения исследований выбран инструмент в виде модуля Kompas Flow САПР КОМПАС-3D.

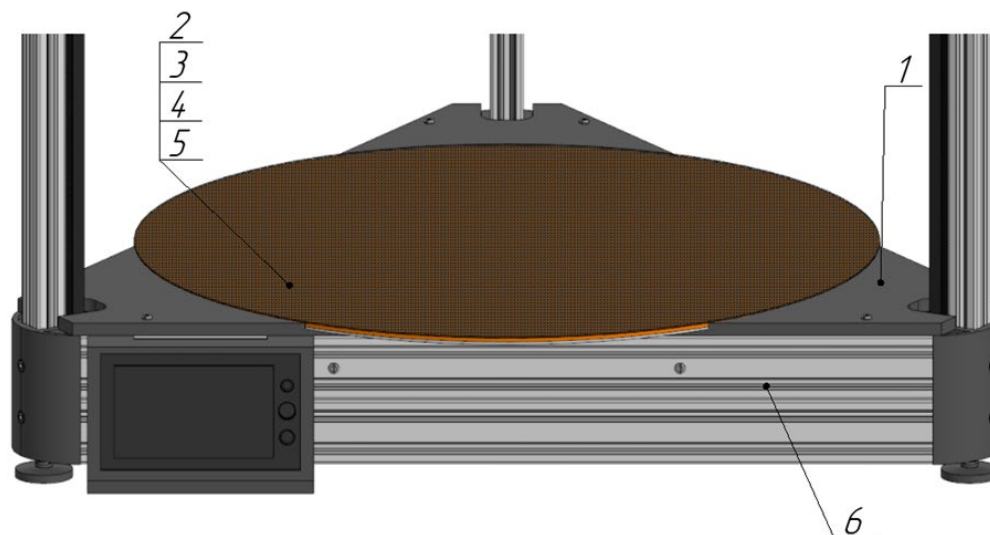


Рисунок 1 – Рабочий стол принтера

Результаты исследований температурного поля стола 3D-принтера приведены на рис.2,3. Анализом результатов исследований установлено: наибольшая температура зафиксирована в центра стола и составляет 393^0 K ($119,85^{\circ}\text{C}$). К краям стола температура уменьшается и достигает значений $350\text{-}360^0\text{ K}$ ($76,85\text{-}86,85^{\circ}\text{C}$). Заданный интервал изменений температуры нагрева стола, в целом, удовлетворяет требованиям эффективности работы стола 3D-принтера. Однако, наличие изменений температурного поля стола приводят к появлению изменений планируемой точности 3D-печати.

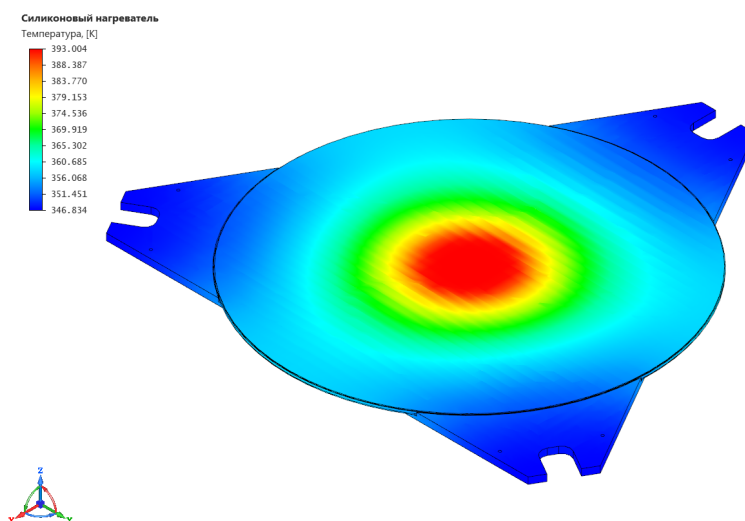


Рисунок 2 – Распространение температуры нагрева рабочего стола

Именно поэтому необходимо учитывать неравномерное температурное поле стола при выборе последовательности движений и программировании перемещения экструдера принтера. Результаты исследования распространения тепла приведены на рис.3.

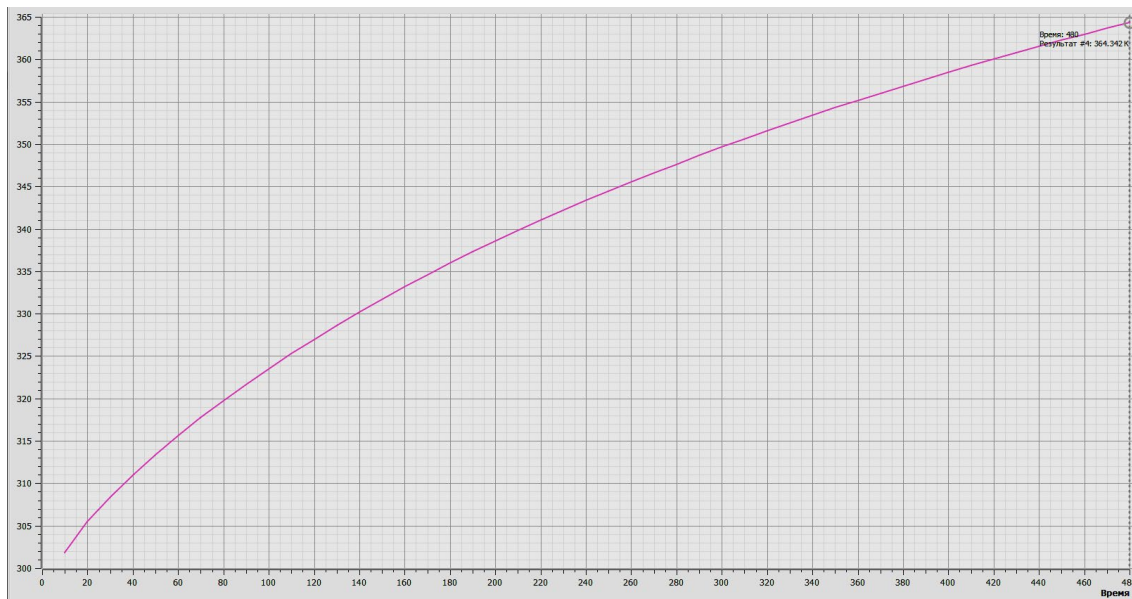


Рисунок 3 – График распространения нагрева рабочего стола

Выводы. Для эффективной работы и снижения величины погрешности генерируемого на 3D-принтере изделия необходимо использование нагрева стола. Исследования распространения тепла при нагреве стола показали небольшие изменения температурного поля от центра стола к его периферии. Наличие изменения температурного поля стола приводят к появлению изменений планируемой точности 3D-печати, которые необходимо учитывать при выборе последовательности движений и программировании перемещения экструдера принтера.

Список литературы: 1. Зленко, М.А. Аддитивные технологии в машиностроении [Текст] / М.А. Зленко, М.В. Нагайцев, В.М. Довбыш // Пособие для инженеров. – М. ГНЦ РФ ФГУП «НАМИ», 2015. - 220 с. 2. Louvis, E. Selective laser melting of aluminum components [Текст] / E. Louvis, P. Fox, C.J. Sutcliffe // Journal of Materials Processing Technology. - 2011. - Vol. 211.- pp. 275-284. 3. Ding, D. Wire-feed additive manufacturing of metal components: technologies, developments and future interests [Текст] / D. Ding [et al.] // Int. J. Adv. Manuf. Technol. - 2015 . - Vol. 81. - pp. 465-481. 4. Горобец И.А., Голубов Н.В., Пикалов Д.А. Обзор исследований прочности изделий полученных с использованием fdm - технологий //Машиностроение и техносфера XXI века // Сборник трудов XXVII международной научно-технической конференции в г. Севастополе 14-20 сентября 2020 г. – Донецк: ДонНТУ, 2020. – С. 81-85.

СОВРЕМЕННЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ПОВЫШЕНИЯ ДОЛГОВЕЧНОСТИ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ И КОНСТРУКЦИЙ ИЗ НИХ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ ФАКТОРОВ

^{1,2,3}Гусев Е.Л. (¹ИПНГ ФИЦ «ЯНЦ СО РАН» г. Якутск, Россия;

²ИМИ СВФУ, г. Якутск, Россия;

³ИФТПС «ЯНЦ СО РАН» г. Якутск, Россия;)

E-mail: elgusev@mail.ru)

***Abstract:** A study of the problem of developing effective methods for predicting the determining characteristics of composite materials and structures under the influence of extreme environmental factors has been conducted. A methodology for matching the parameters of mathematical and physical models at micro- and macro-levels has been developed, which allowed solving the problem of restoring the parameters of physical and chemical processes occurring at the micro-level and leading to destructive changes in composites and deterioration of their characteristics over time. An objective assessment of the parameters of destructive chemical reactions in composites based on the conducted physical experiments made it possible to construct effective generalized models of durability for a long-term period, as well as to conduct a constructive analysis of the influence of individual extreme factors on durability.*

***Key words:** composite materials, composites, forecasting, extreme environmental factors, variational statements of forecasting problems, kinetic theory of strength, mathematical and physical models.*

Введение. В настоящее время полимерные материалы (ПМ), полимерные композиционные материалы (ПКМ), покрытия и конструкции из них являются неотъемлемой частью современной техники во многих областях, определяющих научно-технический прогресс [1-10]. Важность разработки эффективных высокоточных методов долгосрочного прогнозирования определяющих характеристик композиционных материалов и конструкций из них (остаточного ресурса, прочности, надежности, долговечности), обуславливается тем, что композиты в последние десятилетия применяются в таких современных областях, как авиа- и космическая техника, судостроение, нефтяная и газовая промышленность и др. [3-10]. Изменение свойств композитов с течением времени при воздействии различных факторов, как правило, отражается на их работоспособности. Скорость и характер происходящих изменений будут также зависеть от числа факторов, воздействующих на материал, и интенсивности этих воздействий. При решении вопроса об использовании материала в современной технике из большого количества возможных вариантов образцов необходимо выбрать образец с таким составом, который сможет обеспечить оптимальное сочетание необходимых показателей.

Важнейшим преимуществом материала становится его способность как можно дольше сохранять свою работоспособность, то есть, противостоять старению – совокупности физико-химических обратимых и необратимых превращений под воздействием экстремальных факторов внешней среды (температуры, влажности, солнечной радиации, механических напряжений и др.). Основой для принятия решения об использовании материала является совокупность его требуемых показателей при его приемлемой стоимости и способности противостоять старению. В современной технике доминирующее положение занимают материалы, способные без замены функционировать 20-30, а в необходимых случаях и более 50 лет. При применении материалов в авиа-, и космической технике эффективным активатором старения является проникающая радиация, которая в отличие от световой способна инициировать превращения во всем объеме полимера. Поэтому применение полимерных композиционных материалов в авиационной и космической технике делает еще более актуальными исследования стойкости полимеров к излучению [3-10].

Механизм старения полимеров в настоящее время изучен еще недостаточно. Не является установленной количественная связь между влиянием различных видов внешних воздействий на скорость преобладающего процесса старения. Для удовлетворительного же прогнозирования необходимо иметь простые и надежные соотношения между кинетическими параметрами физико-химических процессов и макросвойствами материалов, которые определяют их эксплуатационную пригодность. Эти, а также и другие вопросы составляют важную научную проблему, которая стоит на пути создания научно обоснованных подходов к прогнозированию изменения свойств ПКМ при их хранении и эксплуатации. Важность и актуальность разработки эффективных методов прогнозирования изменения свойств ПКМ объясняется тем, что без данных о характере и скорости изменения механических, электрических, теплофизических свойств полимеров в условиях эксплуатации изделий невозможно обеспечить рациональный выбор материалов и повысить за счет этого надежность изделий.

В основу разработки обобщенных моделей долговечности полимерных композиционных материалов при воздействии экстремальных факторов внешней среды положены основные положения современной кинетической теории прочности.

Материалы и методы исследования. Исследования в области повышения долговечности композиционных материалов и конструкций из них при воздействии экстремальных факторов проводились по следующим направлениям:

I. Проблемы разработки оптимальной структуры композиционных покрытий, наносимых на поверхность конструкций с целью обеспечения максимальной долговечности конструкции при воздействии экстремальных факторов.

II. Проблемы разработки эффективных методов прогнозирования определяющих характеристик композиционных материалов и конструкций (остаточного ресурса, прочности, надежности, долговечности) при воздействии экстремальных факторов.

В рамках первого направления проведено исследование возможности применения вариационных методов к задачам оптимального управления уменьшением интенсивности температурных колебаний внешней среды на основе направленного выбора структуры композиционных покрытий. Рассмотрено применение разрабатываемого вариационного подхода к исследованию предельных возможностей теплозащиты композиционных конструкций при действии тепловых полей с резкими колебаниями температуры внешней среды в течение короткого периода.

Требуется направленным выбором композиционной структуры композиционных покрытий уменьшить воздействие резких температурных колебаний и обеспечить предельные возможности по максимальному гашению уровня интенсивности температурного поля на внутренней поверхности конструкции в заданном временном промежутке.

Необходимо установить структуру композиционной конструкции, реализующую предельные возможности по гашению уровня интенсивности температурного поля. Параметры, определяющие структуру такой конструкции, доставляют глобальный минимум критерию оптимизации:

$$J = \int_0^{\tau_{\max}} \left| T(x, y, z, t) \Big|_{(x, y, z) \in S_1} \right|^2 dt \Rightarrow \min \quad (1)$$

В этих обозначениях : $T(x, y, z, t)$ – значение температуры в точке (x, y, z) наружной поверхности конструкции S_1 в момент времени t ; $[0, \tau_{\max}]$ - интервал, на котором наблюдается резкий скачок температурного поля.

На основе конструктивного анализа необходимых условий оптимальности установлены качественные закономерности оптимальных неоднородных структур, которые позволяют оценить эффективность существующих теплозащитных конструкций и установить, в каком направлении необходимо совершенствовать их теплозащитную способность для достижения предельных возможностей по уменьшению интенсивности температурных воздействий.

В рамках второго научного направления были разработаны эффективные обобщенные модели долговечности ПКМ в экстремальных условиях. В основу разработки обобщенных моделей долговечности ПКМ положены основные положения современной кинетической теории прочности. Из основных положений молекулярно-кинетической теории следует, что число молекул, обладающих энергией E большей энергии активации E_a ($E > E_a$) пропорционально $\exp(-E_a / RT)$, где R – постоянная Больцмана, T – температура. В результате скорость химической реакции представляется уравнениями Аррениуса, которые в функциональной и дифференциальной форме соответственно имеют следующий вид:

$$k = k_0 \exp(-E_a / RT), \quad d(\ln k) / dT = E_a / RT^2 \quad (2)$$

В основу исследования долговечности ПКМ положены физические модели, в которой характер изменения во времени определяющего свойства композита \hat{R} определяется химическими реакциями на молекулярном уровне, описываемыми суперпозицией уравнений Аррениуса, описывающих различные виды молекулярных взаимодействий, инициированных воздействием различных экстремальных факторов F_1, F_2, \dots, F_p на композит:

$$\hat{R} = \hat{R}_0 + H(k_0^1 \exp(E_a^1 / RT), k_0^2 \exp(E_a^2 / RT), \dots, k_0^s \exp(E_a^s / RT), \dots) \quad (3)$$

В этих обозначениях R_0 — начальное значение определяющей характеристики композита, функциональная зависимость H связывает определяющую характеристику композита с параметрами физико-химических процессов, происходящих на микроуровне

В предположении, что различные физические факторы оказывают на полимерный композит влияние, независимое от воздействия других факторов, а также, что обусловленные воздействующими факторами изменения суммируются, обобщенная модель долговечности может быть представлена в виде:

$$R = R_0 + \sum_{j=1}^p F_j(u_{j,1}, u_{j,2}, \dots, u_{j,l_j}; t). \quad (4)$$

В этих обозначениях R – прогнозируемая определяющая характеристика композита; $u_{j,1}, u_{j,2}, \dots, u_{j,l_j}$ – параметры, описывающие характер воздействия j -го фактора на композит, t – время. Воздействие каждого фактора F_j на композит может быть представлено в виде суперпозиции уравнений Аррениуса.

На основе современных представлений молекулярно-кинетической теории (МКТ) проведено исследование проблемы согласования определяющих параметров математических моделей, вычисленных в результате решения задач прогнозирования в рамках вариационной постановки на макроуровне, с соответствующими определяющими параметрами физических моделей, описывающих элементарные физико-химические процессы на микроуровне.

Введен ряд основополагающих принципов и понятий, позволяющих провести оптимальное согласование определяющих параметров, вычисленных на основе постро-

енных математических моделей на макроуровне, с определяющими параметрами физических моделей, описывающими элементарные физико-химические процессы на микроуровне. Введены такие понятия и принципы как принцип множественности моделей прогнозирования, модели прогнозирования оптимальной структуры и сложности, предельно-допустимая точность прогноза и др.

В рамках введенного параметрического семейства моделей долговечности $\{R^N(t)\}$, где параметр N есть число слагаемых при представлении модели долговечности в форме ряда, строится обобщенная модель долговечности оптимальной структуры и сложности, под которой понимается модель, содержащая оптимальное число параметров, позволяющая решать задачу прогнозирования с требуемой точностью.

В рамках разработанной методологии были проведены сравнительные вычислительные эксперименты по прогнозированию остаточного ресурса полимерного волокнистого композита (ПВК). Рассматривалось одновременное воздействие двух факторов: фактора упрочнения и фактора старения. В качестве исходных данных были использованы результаты проведенных физических экспериментов по измерению остаточного ресурса ПВК. На основе проведенных физических экспериментов по разработанной методологии осуществлялось построение оптимальных многопараметрических обобщенных моделей долговечности. Временной интервал, на котором проводились исследования составлял 15 лет ($T_{\max} = 15$). Временной интервал ретроспекции составлял 6 лет ($T_{\min} = 6$). Для данного значения верхней границы интервала ретроспекции T_{\min} по разработанной методологии решалась задача построения обобщенной модели долговечности оптимальной структуры и сложности $R^{N^*}((u^{*N})^*; t)$ и прогнозируемой зависимости остаточного ресурса на основе оптимальной модели долговечности на прогнозируемом временном интервале $[T_{\min}, T_{\max}]$.

Применение модели прогнозирования оптимальной структуры и сложности на основе разработанной методологии в рамках уточненных вариационных постановок обратных задач прогнозирования позволило получить достоверные результаты прогнозирования для временного интервала порядка нескольких лет (ошибка прогноза составляет до 4% при прогнозе до 9 лет).

Заключение. На основе современных положений кинетической теории прочности в рамках уточненных вариационных постановок обратных задач прогнозирования проведено исследование проблемы разработки эффективных методов прогнозирования определяющих характеристик композитов при одновременном воздействии нескольких экстремальных факторов. На основе согласования параметров математических и физических моделей на микро- и макроуровнях разработаны математические модели прогнозирования определяющих характеристик композитов. Показано, что применение моделей прогнозирования оптимальной структуры и сложности на основе разработанной методологии в рамках уточненных вариационных постановок обратных задач прогнозирования позволяет получить достоверные результаты прогнозирования для временного интервала порядка нескольких лет.

Список литературы: 1. 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 // Mater. Phys. Mech., 2016, Vol. 26, No. 1, P. 70—72. 2. Gusev E. L., Bakulin V. N., Chernykh V. D. Development and application of combined methods to expand the potential for predicting the defining characteristics of composites // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering., 2020, Vol. 927, P. 010240. 3. Гусев Е.Л., Бакулин В.Н. Оптимальное управление уменьшением интенсивности теплового поля на основе выбора структуры неоднородных конструкций в вариационной постановке // Доклады РАН, 2018, т.480, № 3, с.287-292. 4. Гусев Е.Л., Бакулин В.Н. Вариационные постановки обратных задач прогнозирования остаточного ресурса композитов // Доклады Академии наук, 2018, т. 482, №3, с. 281-286. 5. Гусев Е.Л., Бакулин В.Н. Вариационные методы решения задач управления интенсивностью температурного поля на основе выбора структуры слоисто-неоднородных композиционных конструкций //Инженерно-физический журнал, 2021, т. 94, № 6, с. 1141-1147. 6. Гусев Е.Л., Бакулин В.Н. Обобщенные модели долговечности и их применение для решения задач прогнозирования определяющих характеристик композитов //Механика композитных материалов, т. 58, № 3, 2022, с. 505-520. 7. Гусев Е.Л., Бабенко Ф.И. Методы поиска экстремума с оптимальным выбором параметров для решения задач восстановления параметров моделей прогнозирования определяющих характеристик полимерных композитов //Сб. трудов «Материалы для технических устройств и конструкций, применяемых в Арктике», М., Всероссийский институт авиационных материалов, 2015, с.132-141. 8. Гусев Е.Л. Математические методы прогнозирования определяющих характеристик композиционных материалов и конструкций, основанные на принципе множественности моделей прогнозирования в вариационных постановках//Труды третьей Международной конференции «Деформирование и разрушение материалов и конструкций», посвященной 80-летию ИМАШ РАН», Москва, Институт машиноведения РАН, 2018, с. 37-39. 9. Гусев Е.Л. Постановка и решение задач прогнозирования остаточного ресурса, долговечности композиционных материалов и конструкций при воздействии экстремальных климатических факторов внешней среды//Сб. трудов VII Межд. конференции «Деформация и разрушение материалов и наноматериалов, Москва, Институт металлургии и материаловедения РАН, 2017, с. 847-849. 10. Гусев Е.Л., Бакулин В.Н. Разработка обобщенных моделей долговечности композиционных материалов и конструкций в экстремальных условиях на основе современных положений кинетической теории прочности//Материалы 1-ой Международной конференции «Скоростной транспорт будущего, перспективы, проблемы, решения (HSTD-2022)», М., МАИ, 2022 с. 47-48.

ТРИБОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА МУЛЬТИМОДАЛЬНЫХ ПОКРЫТИЙ, НАНЕСЕННЫХ ЛАЗЕРНОЙ НАПЛАВКОЙ, В УСЛОВИЯХ ТРЕНИЯ С ГРАНИЧНОЙ СМАЗКОЙ

Девойно О.Г., Кардаполова М.А., Луцко Н.И., Пилецкая Л.И.

(БНТУ, г. Минск, Республика Беларусь)

Тел./Факс: +375 (17) 3310045; E-mail: scvmed@bntu.by

Abstract: The article investigates the tribological properties of laser-deposited 2D and 3D multimodal coatings from dissimilar materials under friction conditions with boundary lubrication. The dependences of the wear rate of multimodal and homogeneous coatings on the deposition rate and the tracks deposition step are given. It is shown that multimodal coatings under friction conditions with boundary lubrication have high wear resistance, and the wear resistance of 3D multimodal coating exceeds the wear resistance of a coating made of an expensive nickel-based self-fluxing alloy by 1,3 times.

Key words: Laser cladding, multimodal coatings, tribological properties, wear rate, boundary lubrication.

Современное оборудование работает в большинстве случаев при больших скоростях и нагрузках. Поэтому достаточно высока потребность в материалах, обеспечивающих надежную работу в таких условиях. Прежде всего, речь идет о композиционных материалах, в том числе о композиционных упрочняющих покрытиях, позволяющих значительно увеличить износостойкость. Особенно высокие физико-механические свойства показывает появившийся недавно вид композиционных покрытий – мультимодальные покрытия [1, 2].

При лазерной наплавке наносятся валики небольших размеров, при этом тепловой вклад в прилегающие области покрытия и подложку минимален. Также невелика диффузия материала валика в подложку, в то же время прочность сцепления наплавленных валиков с подложкой и между собой высокая [3].

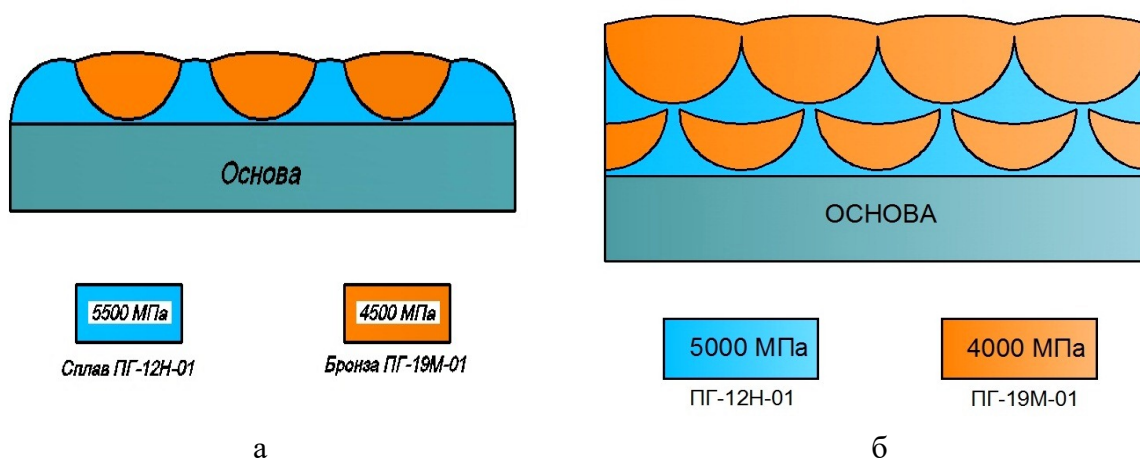


Рис. 1. Схемы поперечного сечения 2D (а) и 3D (б) мультимодальных покрытий

Свойства лазерной наплавки идеально подходят для построения с ее помощью мультимодальных покрытий. В частности, возможно создавать мультимодальные покрытия, состоящие из чередующихся между собой валиков из разнородных материалов. В Белорусском национальном техническом университете разработана технология нанесения мультимодальных покрытий путем послойного чередования валиков из самофлюсующегося сплава на основе никеля ПГ-12Н-01 и бронзы ПГ-19М-

01. Чередование валиков может быть послойным в однослойном 2D покрытии, рисунок 1а, и между слоями в двухслойном 3D покрытии, рисунок 1б. Предлагаемая технология подходит для использования как для упрочнения поверхностей новых деталей, так и для восстановления изношенных поверхностей, с приданием им хороших прочностных свойств [4].

В данной статье сделана попытка исследовать трибологические свойства мультимодальных покрытий, показанных на рисунке 1, в условиях трения с граничной смазкой.

Материалами для построения мультимодальных покрытий являлись сплав на основе никеля ПГ-12Н-01 и бронза ПГ-19М-01. Для сравнения изготавливались образцы с однородными покрытиями из сплава ПГ-12Н-01 и бронзы ПГ-19М-01. Материалом для изготовления образцов являлась сталь 45. Покрытия наплавливались на лазерном комплексе на базе СО₂-лазера непрерывного действия «Комета 2» и координатной системы с числовым программным управлением «РУХ-4.0». Мощность излучения составляла 1000 Вт, подача порошка – 12 г/мин.

Для испытаний в условиях трения с граничной смазкой использовались дисковые образцы толщиной 12 мм, имевшие наружный диаметр 50 мм и центральное отверстие диаметром 15 мм. Поверхность покрытий после наплавки на образцы шлифовалась до Ra 1,6 мм.

Трибологические испытания производились на специальном приспособлении, изготовленном на базе настольного сверлильного станка. На столе станка устанавливалась ванна для сбора смазки с закрепленным в ней при помощи шпильки и гайки дисковым образцом. Контртело, имеющее вид втулки из твердого сплава ВК-6 с толщиной стенки 1,5 мм, закреплялось в патроне сверлильного станка. Патрон вращался с частотой 2300 мин⁻¹ относительно неподвижного образца. Масло индустриальное марки И-20А подавалось в зону трения контртела и образца капельным способом через трубку. Необходимое контактное давление в зоне трения создавалось с помощью грузов переменной массы. Величина износа определялась глубиной канавки износа, замеренной с помощью профилографа-профилометра MarSurf PS1-Explorer.

Удельный износ $I_{y\partial}$ $\left(\frac{\text{мм}}{\text{м}}\right)$ рассчитывался по формуле 1.

$$I_{y\partial} = \frac{H}{10^{-3} \cdot \pi \cdot n \cdot d \cdot t}, \quad (1)$$

где H – средняя глубина канавки износа по результатам трех измерений, мм;

n – частота вращения твердосплавной втулки, мин⁻¹;

d – средний диаметр твердосплавной втулки, мм;

t – время изнашивания, мин.

В результате обработки данных по износу в условиях граничной смазки 2D и 3D мультимодальных покрытий, полученных при различных скоростях наплавки, были построены зависимости удельного износа от скорости наплавки этих покрытий, рисунки 2а и 2б. Для сравнения были построены такие же зависимости для однородных покрытий из компонентов мультимодальных покрытий, сплава ПГ-12Н-01 и бронзы ПГ-19М-01, рисунки 3а и 3б.

Для 2D и 3D мультимодальных покрытий, рисунки 2а и 2б, с увеличением скорости наплавки V_{Ni}/V_{Br} со 100/140 мм/мин до 110/150 мм/мин происходит уменьшение величины удельного износа. При дальнейшем увеличении скорости наплавки V_{Ni}/V_{Br} до 120/160 мм/мин наблюдается некоторый рост величины удельного износа. Такие изменения величины удельного износа для мультимодальных покрытий

связаны с взаимным сочетанием изменений физико-механических свойств и фазового состава компонентов мультимодальных покрытий, а также с наличием в составе многокомпонентных мультимодальных покрытий мягкой составляющей – бронзы.

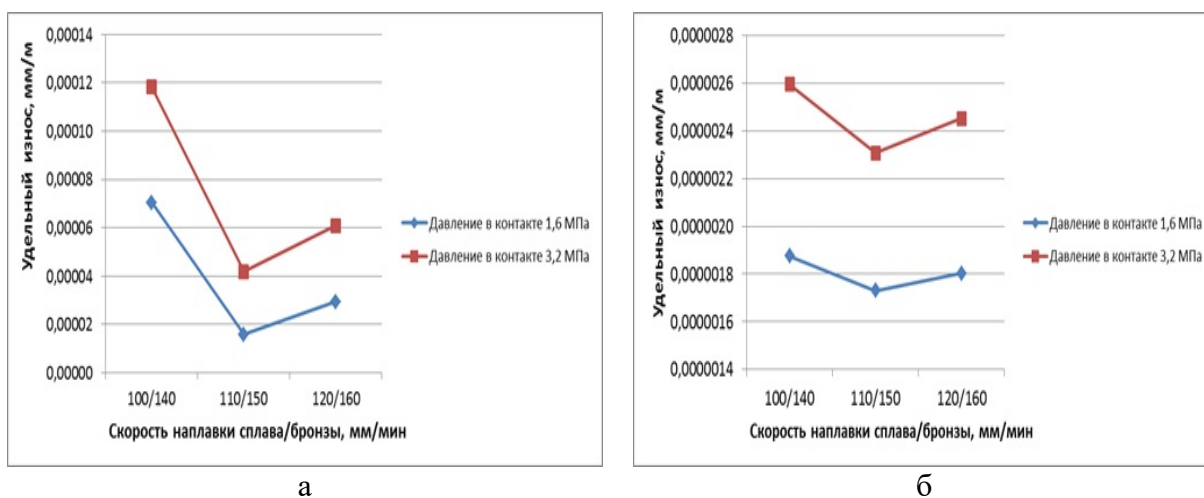


Рис. 2. Зависимости удельного износа от скорости наплавки для 2D мультимодального покрытия (а) и для 3D мультимодального покрытия (б) в условиях трения с граничной смазкой

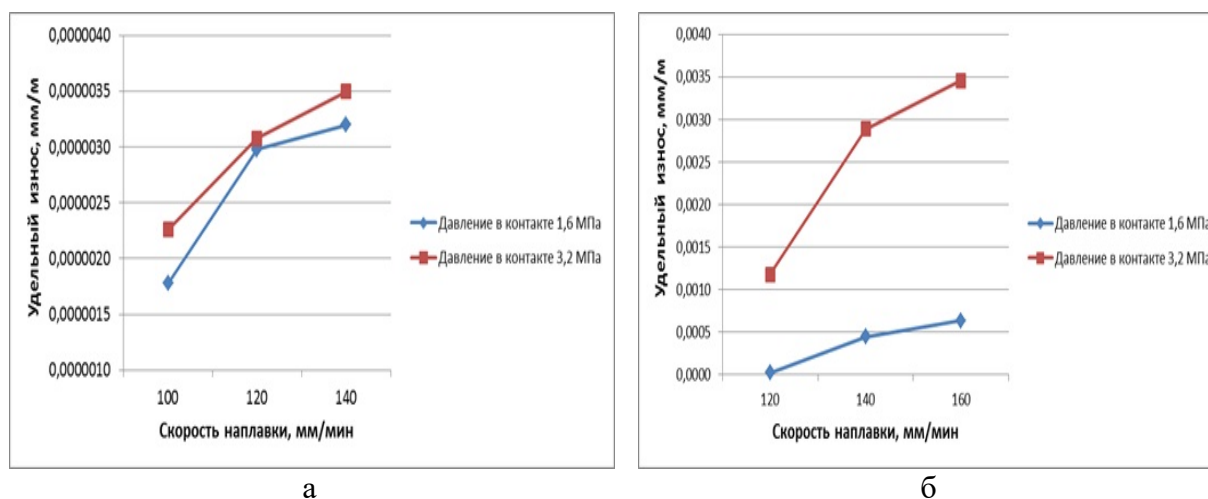


Рис. 3. Зависимости удельного износа от скорости наплавки для однородных покрытий из сплава ПГ-12Н-01 (а) и бронзы ПГ-19М-01 (б) в условиях трения с граничной смазкой

Зависимости величины удельного износа от скорости наплавки для однородных покрытий из сплава на основе никеля, рисунок 3а, и бронзы, рисунок 3б, имеют несколько иной вид. При увеличении скорости наплавки там происходит увеличение величины удельного износа, что вполне согласуется с изменением физико-механических свойств этих покрытий.

На приведенных выше графиках, рисунки 2 и 3, хорошо заметно увеличение величины удельного износа при росте давления в контакте, что связано с изменением механизма износа, т.е. с переходом от износа без схватывания за счет пластической деформации контактирующих поверхностей к износу схватыванием, когда нагрузка оказывает значительное влияние на величину износа [5].

Также было исследовано изменение величины удельного износа 3D мультимодального покрытия при различных шагах наплавки валиков. Результаты представлены на рисунке 4.

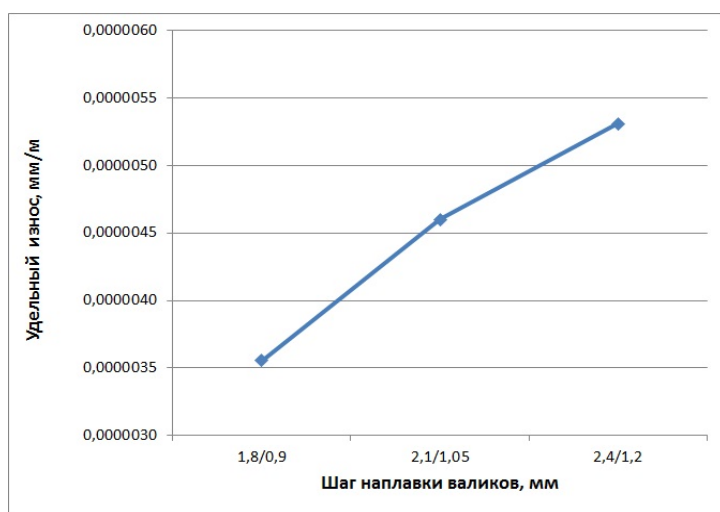


Рис. 4. Зависимость величины удельного износа от шага наплавки валиков для 3D мультимодального покрытия в условиях трения с граничной смазкой.

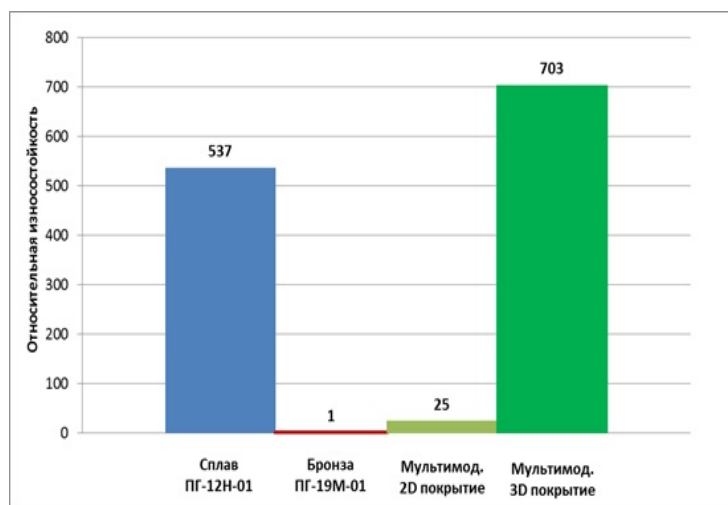


Рис. 5. Относительная износостойкость покрытий в условиях трения с граничной смазкой

Из рисунка 4 видно, что при росте шага наплавки валиков величина удельного износа 3D мультимодального покрытия увеличивается в 1,47 раза. Этот факт подтверждает возможность регулирования эксплуатационных свойств мультимодальных покрытий при изменении шага наплавки валиков.

Для сравнения износостойкости покрытий в условиях трения с граничной смазкой на рисунке 5 приведена диаграмма, показывающая относительную износостойкость всех подвергнутых испытаниям покрытий. Наибольшей износостойкостью при трении в условиях граничной смазки обладает 3D мультимодальное покрытие (703). Его износостойкость превышает износостойкость однородного покрытия из сплава ПГ-12Н-01 (537) в 1,3 раза. Наиболее низкой износостойкостью обладает однородное покрытие из бронзы ПГ-19М-01 (1). Износостойкость 2D мультимодального покрытия хотя и превышает износостойкость покрытия из бронзы в 25 раз, но она в 28 раз ниже износостойкости 3D мультимодального покрытия.

Таким образом, видно, что при небольшой себестоимости нанесения 3D мультимодального покрытия, его износостойкость при трении в условиях граничной смазки в 1,3 раза превышает износостойкость однородного покрытия из высокоизносостойкого, но очень дорогого сплава на основе никеля [6]. Такие высокие эксплуатационные свойства мультимодального покрытия при трении в условиях граничной смазки связаны с наличием в его составе двух компонентов, из которых сплав ПГ-12Н-01 выполняет роль силового корсета, а бронза ПГ-19М-01 участвует в

процессах избирательного переноса, имеющих место при изнашивании мультимодального покрытия, как многокомпонентного, включающего мягкую составляющую [7].

Выводы:

Проведенные исследования износостойкости мультимодальных и однородных покрытий в условиях трения с граничной смазкой показали следующее:

- Мультимодальные покрытия, нанесенные лазерной наплавкой, имеют несомненные преимущества перед однородными покрытиями из тех же материалов, нанесенными тем же методом;

- Наиболее высокой износостойкостью обладает 3D мультимодальное покрытие. Его износостойкость превышает износостойкость однородного покрытия из сплава ПГ-12Н-01 в 1,3 раза;

- Показатели износостойкости 2D мультимодального покрытия гораздо скромнее. Это покрытие, хотя и превосходит по износостойкости однородное покрытие из бронзы ПГ-19М-01, но его износостойкость значительно ниже не только износостойкости 3D мультимодального покрытия, но и износостойкости однородного покрытия из сплава ПГ-12Н-01;

- Износостойкость всех исследованных покрытий достаточно сильно зависит от режимов лазерной наплавки, подбор которых дает возможность обеспечивать заданную износостойкость в требуемых условиях эксплуатации.

- При трении в условиях граничной смазки, 3D мультимодальное покрытие, имеющее себестоимость нанесения почти в 2 раза ниже себестоимости нанесения однородного покрытия из самофлюсующегося сплава на основе никеля, может с успехом заменить этот сплав в большинстве случаев и обеспечить значительное удешевление деталей с износостойкими покрытиями при улучшении их эксплуатационных свойств.

Список литературы: 1. Ratajski, J. Mechanical properties of antiwear Cr/CrN multimodule coatings/ J. Ratajski , A. Gilewicz, P. Bartosik, L. Szparaga// Archives of Materials Science and Engineering. – 2015. – V. 75. - I. 2. – P. 35-45. 2. Gilewicz, A. The properties of multi-module and gradient coatings base on CrN/CrCN deposited on nitride 4140 steel/ A.Gilewicz, R. Olik, L. Szpraga, J. Ratajski// Problemy Eksploatacji – Maintenance Problems. – 2014. – I. 3. – P. 27-43. 3. Vilar, R. Laser cladding/ R. Vilar// Journal of laser applications. – 1999. – V. 11. – I. 2. - P. 64-79. 4. Шишковский И.В. Лазерный синтез функционально-градиентных мезоструктур и объемных изделий. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2009, - С. 424. 5. Аксенов, А.Ф. Трение и изнашивание металлов в углеводородных жидкостях - М.: Машиностроение, 1977. - 152 с. 6. Борисов, Ю.С. Получение и структура газотермических покрытий на основе Ni-Cr-B-Si – сплавов/ Ю.С. Борисов, И.Н. Горбатов, В.Р. Калиновский и др.// Порошковая металлургия – 1985 - № 9 - С. 22-26. 7. Берснев, В.М. Влияние многокомпонентных и многослойных покрытий на процессы трения и износа// Физическая инженерия поверхностей. – 2004 - Т. 2. - № 4 - С. 214-219.

ВЫСОКОПРОЧНЫЕ ТОЛСТОЛИСТОВЫЕ СТАЛИ ДЛЯ СВАРНЫХ МЕТАЛЛОКОНСТРУКЦИЙ И ГАЗОПРОВОДНЫХ ТРУБ БОЛЬШОГО ДИАМЕТРА

Егоров Н.Т. (ДонНТУ, г. Донецк, ДНР)
Тел.: (062)301-08-72, E-mail: fm.donntu@mail.ru

Abstract: *Thick-sheet high-strength steels with a specified minimum yield strength of 440-960 N/mm², their production and application, as well as prospects for the development of technologies that provide high strength, toughness, good weldability and flatness of thick sheets are considered.*

Keywords: *thick sheet, gas pipelines, strength, toughness, controlled rolling, heat treatment.*

Высокопрочные толстолистовые стали в настоящее время являются продукцией повышенного спроса и устойчивого сбыта. В условиях рыночных отношений и высокой конкурентности производства решающим фактором при определении экономических преимуществ применения высокопрочных сталей является экономия металла, благодаря возможности изготовления облегченных конструкций и сооружений, а также благоприятные условия последующей обработки изделий, включая их свариваемость.

Толстолистовые высокопрочные стали широко используются в машиностроении, судостроении, при изготовлении буровых платформ, транспортных средств, а также в промышленном и гражданском строительстве.

Интенсивное строительство трубопроводов большого диаметра для транспортировки природного газа на большие расстояния и работающих в сложных климатических условиях также требует от металлургов все в больших объемах производить высокопрочную толстолистовую сталь.

В данной работе обобщены известные данные и результаты собственных исследований по производству и применению высокопрочных толстолистовых сталей для сварных металлоконструкций и труб большого диаметра, а также перспективы их дальнейшего развития.

Обеспечение высокой прочности, сочетающейся с достаточной пластичностью и ударной вязкостью, а также высокой хладостойкостью при производстве толстых листов достигается современным уровнем развития технологии выплавки и разливки стали, выверенной концепцией легирования, технологией контролируемого процесса термомеханической прокатки и применением термической обработки.

Тем не менее важнейшим технологическим процессом, определяющим уровень механических свойств толстых листов являются термическая и деформационно-термическая обработки.

Наиболее высокие значения предела текучести конструкционных сталей обеспечиваются после их закалки и отпуска (термоулучшения). Максимальный нормированный уровень предела текучести у зарубежных стандартизованных высокопрочных конструкционных сталей в настоящее время составляет 960Н/мм². Стали с более высоким пределом текучести (1100Н/мм² и выше) производятся отдельными зарубежными фирмами в опытно-поисковом порядке по специальным техническим условиям [1,2].

Химический состав и механические свойства высокопрочных толстолистовых сталей отечественного и зарубежного производства приведены в таблицах 1 и 2.

Таблица 1 – Химический состав отечественных и зарубежных высокопрочных толстолистовых сталей

Марка стали	Стандарт	Массовое содержание элементов, %						
		C	Mn	Si	Cr	Mo	Ni	Другие
S690QL	EN10137	≤0,18	≤1,60	≤0,50	≤0,80	≤0,60	≤1,50	0,10V
S960QL	EN10137	≤0,18	≤1,60	≤0,50	≤0,90	≤0,80	≤2,00	0,10V 0,005B
14X2ГМР	ТУ 14-1-5241	0,12- 0,16	0,9-1,2	0,20- 0,50	1,3-1,7	0,4-0,5	≤0,03	0,002B 0,03V
16Г2АФ	ГОСТ 19282	0,14- 0,20	1,3-1,7	0,30- 0,60	≤0,40	≤0,30	≤0,30	0,08- 0,14V
18Г1ХФТЮД	ТУ 14-1-4632	0,15- 0,19	1,1-1,3	0,30- 0,50	≤0,30	-	≤0,15	0,02Ti 0,04V 0,24Cu

Примечание. В сталях марок S690QL и S960QL содержание S≤0,015%, P≤0,020%, в остальных – S≤0,030%, P≤0,035%.

Таблица 2 – Механические свойства высокопрочных толстолистовых сталей.

Марка стали	Механические свойства			
	σ _B	σ _T	δ ₅ , %	КСУ, Дж/см ²
	Н/мм ²		не менее	
S690QL	770-940	≥ 690	14	29 при -60°C
S960QL	980-1150	≥ 960	10	29 при -40°C
14X2ГМР	≥ 700	≥ 600	14	40 при -40°C
16Г2АФ	≥ 590	≥ 440	19	39 при -70°C
18Г1ХФТЮД	≥ 700	≥ 600	14	39 при -70°C

Примечание. Значения ударной вязкости сталей S690QL и S960QL указаны при испытании образцов с острым надрезом (КСУ).

Основной объем термообработанного толстолистового проката, производимого отечественными металлургическими предприятиями составляют низколегированные стали повышенной ($\sigma_T \geq 400$ Н/мм²) и высокой ($\sigma_T \geq 440$ Н/мм²) прочности, поставляемые по ГОСТ 19282.

Исследования и испытания промышленных партий термоупрочненного толстолистового проката показали, что его применение более эффективно и экономично по сравнению с горячекатаным и нормализационным металлом.

Применение термоупрочненных конструкционных сталей с пределом текучести 690-960 Н/мм² позволяет уменьшить толщину листов при изготовлении сварных конструкций на 60-65 %. При этом также снижаются затраты на сварку за счет сокращения продолжительности процесса и снижения расхода флюсовых материалов.

По информации японских специалистов вес резервуаров для хранения нефти, выполненных из улучшенной толстолистовой стали с временным сопротивлением разрыву 600 Н/мм² на 10-20 % меньше веса резервуаров при их изготовлении из нормализованной стали [3].

Наши исследования показали, что применение термоулучшенной толстолистовой стали 09Г2С повышенной прочности с пределом текучести 440-460 Н/мм² позволяет Воронежскому экскаваторному заводу при изготовлении деталей экскаваторов Э-2503В и Э-250ВХЛ сократить расход металла на 20 %.

Из толстолистового проката сталей 16Г2АФ ($\sigma_T \geq 450 \text{ Н/мм}^2$) и 18Г1ХФТЮД ($\sigma_T \geq 600 \text{ Н/мм}^2$) на машиностроительном заводе г. Красный Луч была изготовлена опытная партия рештаков скребковых шахтных конвейеров. Промышленные испытания рештаков показали высокую их надежность в процессе длительной эксплуатации. Износостойкость днища рештаков из термоупрочненных сталей по сравнению с ранее используемым горячекатаным прокатом из стали 15ХСНД увеличилась на 35-40 %.

Весьма эффективным является применение термоупрочненных толстолистовых сталей в гражданском и промышленном строительстве. В частности, при изготовлении каркаса высотных зданий из высокопрочной стали 16Г2АФ с пределом текучести $\geq 450 \text{ Н/мм}^2$, по сравнению с углеродистой сталью класса прочности 38/23, экономия металла достигает 20-40 % при снижении общей стоимости металлоконструкции на 8-10 % [4].

К сожалению, несмотря на устойчивый и все возрастающий спрос на высокопрочную толстолистовую сталь и несомненные экономические преимущества ее применения, вопросам развития и совершенствования современных технологий и оборудования для упрочняющей обработки толстых листов в отечественной практике должного внимания не уделяется. Существующие ранее планы реконструкции и замены устаревшего оборудования, используемого для закалки толстых листов, так и не были реализованы.

Важнейшими проблемами, возникающими при закалке крупногабаритных толстых листов, является недостаточная интенсивность и равномерность их охлаждения по площади и сечению, что определяется с одной стороны удельным расходом воды, подаваемой на верхние и нижние охлаждаемые поверхности, а с другой – низкой прокаливаемостью толстолистовых низколегированных сталей [5].

Характерной особенностью низколегированных малоуглеродистых толстолистовых сталей является высокая температура начала мартенситного превращения, низкая устойчивость переохлажденного аустенита, наличие достаточно развитой области промежуточных превращений, которой в довольно широком температурно-временном интервале сопутствует ферритное превращение. В таких сталях очень сложно разделить структуру мартенсита и нижнего бейнита.

Исследованиями [6] установлено, что для получения полностью мартенситной структуры с твердостью 450HV_{10} и более (временное сопротивление при растяжении 1300Н/мм^2) критическая скорость охлаждения при закалке большинства толстолистовых низколегированных сталей должна составлять не менее $130\text{-}150^\circ\text{C/с}$. Обеспечить такие скорости охлаждения толстых листов, которые являются достаточно массивным видом прокатной продукции, в промышленных условиях практически невозможно. Бейнито-мартенситная структура без избыточного феррита с твердостью не менее 360 HV_{10} (временное сопротивление при растяжении около 1000Н/мм^2) образуется при скоростях охлаждения $80\text{-}100^\circ\text{C/с}$.

Изучение процесса закалки толстых листов с использованием компьютерного моделирования показало, что при двухсторонней струйной подаче воды на охлаждаемую поверхность требуемая скорость охлаждения и формирования бейнито-мартенситной структуры без избыточного феррита достигается при удельном расходе воды, подаваемой на верхнюю поверхность листа в количестве $80\text{-}100 \text{ м}^3/\text{м}^2\text{ч}$, а снизу – соответственно $150\text{-}220 \text{ м}^3/\text{м}^2\text{ч}$. При этом, из-за низкой прокаливаемости толстолистовых низколегированных сталей, глубина закаленного слоя с бейнито-мартенситной структурой не превышает 5-6 мм. Это означает, что полную прокаливаемость, в этом случае, можно ожидать на листах толщиной не более 10 мм. В остальных случаях (при больших толщинах), появление в структуре закаленных листов полигонального феррита неизбежно.

Исследованиями установлено, что при закалке листов толщиной 16-32 мм в промышленных условиях с использованием существующего на металлургических предприятиях закалочного оборудования содержание полигонального феррита в структуре термоупрочненных толстолистовых низколегированных сталей изменяется в широких пределах и может достигать до 60%.

С увеличением количества полигонального феррита прочностные характеристики закаленной стали снижаются, а пластические свойства возрастают. Следует отметить, что отрицательное влияние феррита, выделяющегося при закалке, проявляется не только в снижении прочности стали, но и ее ударной вязкости.

Установлено, что при производстве термоупрочненного толстолистового проката повышенной и высокой прочности с пределом текучести не менее 400 и 440 Н/мм² по ГОСТ 19282 содержание полигонального феррита в структуре закаленной стали не должно превышать 30 % и 20% соответственно. Для обеспечения сбалансированных значений прочности, пластичности и ударной вязкости при производстве высокопрочных свариваемых конструкционных сталей наиболее предпочтительно после закалки иметь бейнито-мартенситную или бейнитную структуры без избыточного феррита.

Определены необходимые и предельно допустимые скорости интенсивного охлаждения, а также его длительность при закалке листов различной толщины с учетом степени легированности сталей и температурно-временных интервалов структурно-фазовых превращений, обеспечивающие максимальную их прокаливаемость, минимальное коробление и перепад температур по сечению, а также высокий уровень прочностных свойств.

Для реализации современной технологии закалки при производстве высокопрочной толстолистовой стали специалистами Новокраматорского машиностроительного завода (НКМЗ) была спроектирована и изготовлена роликовая закалочная машина нового поколения, которая в 2007 году была установлена на толстовом стане 2150 металлургического комбината Huta Stalowa Wola в Польше [7].

Освоение процесса закалки толстых листов показало высокую его эффективность и возможность производства высокопрочных сталей с нормируемым пределом текучести 690-960 Н/мм², полностью удовлетворяющих требованиям зарубежных стандартов [8].

Высокие характеристики текучести и прочности при растяжении сочетаются с высокими характеристиками ударной вязкости термоулучшенных сталей. Температура хладостойкости ($KCV > 29$ Дж/см²) составляет минус 60 и минус 40°С для сталей S690QL и S960QL соответственно. Листы после закалки в РЗМ характеризовались достаточно высокой равномерностью структуры и свойств по их сечению. Колебания твердости по длине и ширине листов не превышает 2% от ее средних значений. При этом закаленные листы характеризовались высокой плоскостностью, что практически исключало необходимость их дальнейшей правки.

Структура закаленных листов толщиной 30 мм представляла собой смесь мартенсита и бейнита без избыточного феррита. Появление бейнита наблюдалась в центральной части (по толщине) листов толщиной свыше 20 мм в количестве не более 15%. Необходимый уровень механических свойств на сталях S690QL и S960QL достигается при более низких, чем указано в зарубежных стандартах, значениях углеродного эквивалента, что значительно облегчает их свариваемость и обеспечивает экономию легирующих элементов.

Дальнейшее совершенствование технологии производства высокопрочных конструкционных сталей с пределом текучести 690Н/мм² (S690QL), 960 Н/мм² (S960QL) и 1100 Н/мм² (S1100QL) определяется необходимостью увеличения толщины

листов (до 100 мм и выше) при обеспечении гарантированного уровня и равномерности механических свойств по их сечению и повышения ударной вязкости.

Перспективным направлением повышения прочностных свойств толстолистовых низколегированных сталей является применение термопластической упрочняющей обработки с использованием деформации циклическим знакопеременным изгибом в сочетании с интенсивным ускоренным охлаждением. Особенность и привлекательность такой технологии заключается в том, что она может осуществляться как в потоке, так и вне линии прокатных станов не осложняя их работу, а деформационное воздействие на листовой прокат производится без изменения его формы путем многократноповторяющегося циклического изгиба. Эффект упрочнения при пластической деформации многократным изгибом определяется разовой степенью деформации при изгибе, числом циклов изгиба и температурной обработкой. В зависимости от комбинации перечисленных параметров обработки степень упрочнения малоуглеродистых низколегированных сталей может быть весьма значительной и достигать 60-230 Н/мм², обеспечивая при этом получение механических свойств на уровне, а в ряде случаев и выше, термоулучшенного (закалка и отпуск) толстолистового проката [9].

Значительный прогресс в последние годы достигнут при производстве высокопрочных толстолистовых сталей для изготовления труб большого диаметра магистральных газопроводов [10].

В настоящее время для изготовления труб большого диаметра в отечественной практике широко используются малоуглеродистые микролегированные стали марок 09Г2ФБ, 10Г2ФБ, 10Г2ФБЮ, 08Г2ФБТ и другие с гарантированными механическими характеристиками и температуры эксплуатации минус 15÷20°С, поставляемые по специальным техническим условиям. В высокопрочных сталях классов прочности Х70 и Х80 в качестве микролегирующих элементов дополнительно применяются Мо, Ni, Cr, В. Для обеспечения высоких характеристик хладостойкости, устойчивости против сероводородного охрупчивания и стресс-коррозии содержание примесных элементов снижается до уровня $S \leq 0,002\%$, $P \leq 0,025\%$, $H_2 \leq 2 \text{ ppm}$, $Q_2 \leq 0,30 \text{ ppm}$, $\Sigma (As, Sb, Sn, Pb, Zn, Bi) \leq 0,020\%$.

Наиболее распространенными зарубежными сталями для изготовления газопроводных труб большого диаметра являются стали классов прочности Х60 и Х70, производство которых осуществляется по техническим нормам Американского нефтяного института API 5L.

Трубные стали отечественного и зарубежного производства по своему химическому составу практически не отличаются и содержат в своем составе, %: С 0,07-0,12; Мп 1,5-2,0; Si 0,35-0,50; Nb 0,04-0,06; V 0,06-0,12; Ti 0,02-0,05.

Технологические схемы производства толстолистового проката для изготовления труб большого диаметра на зарубежных и отечественных станах близки между собой и предусматривают обязательное применение контролируемой прокатки, которая является сегодня неотъемлемой частью технологического процесса производства трубных сталей.

При производстве сталей классов прочности Х60 и Х70 (отечественные аналоги К65 и К60) в основном применяется низкотемпературная контролируемая прокатка, предусматривающая окончание деформации в двухфазной $\gamma + \alpha$ области при температурах 710-730°С и последующее охлаждение на воздухе, что обеспечивает формирование мелкозернистой феррито-перлитной структуры.

Технологию низкотемпературной контролируемой прокатки успешно освоили металлургические комбинаты «Азовсталь» (стан 3600), им. Ильича (стан 3000), ОАО «Уральская сталь» и ОАО «Северсталь» (станы 2800 и 5000).

Современная практика проектирования и эксплуатации протяженных магистральных трубопроводов требует увеличения рабочего давления с 7,5 до 10-12 Н/мм² и толщины листового проката для изготовления труб диаметром 1420 мм до 32-33 мм.

Для обеспечения необходимой надежности и сопротивления разрушению высокопрочных трубопроводов, работающих при повышенных давлениях, требуется не только высокая их прочность, но и повышение характеристик ударной вязкости и хладостойкости сталей до значений $KCV^{-20} \geq 170-200$ Дж/см², а в перспективе и до 260 Дж/см² при температуре испытания минус 40°С. Требования к свариваемости металла также предусматривает ограничение углеродного эквивалента (Сэкв) сталей до величины не более 0,43 и параметров сопротивляемости растрескиванию при сварке (Рст) не более 0,23.

Совокупность требуемых свойств для газопроводов большого диаметра, работающих при давлениях 10-12 н/мм², не может быть надежно обеспечена применением традиционных сталей с феррито-перлитной структурой и могут достигаться только при формировании в сталях многофазной феррито-бейнитной структуры с различным соотношением структурных составляющих, таких как полигональный и игольчатый феррит, бейнит, мартенсито-аустенитные комплексы и дисперсные частицы специальных карбидов [11,12].

В настоящее время признанной технологией, обеспечивающей получение необходимой микроструктуры трубных сталей классов прочности Х70 и Х80, является высокотемпературная термомеханическая (контролируемая) прокатка с окончанием деформации в аустенитной области (ниже температуры рекристаллизации аустенита) с последующим ускоренным охлаждением.

Вместе с тем, толстолистовые стали после контролируемой прокатки, особенно низкотемпературной, характеризуются неравномерной, напряженной микроструктурой с ярко выраженной структурной неоднородностью в виде чередующихся полос феррита и перлита. При этом ориентированные зерна феррита имеют развитую деформационную текстуру. Такая структурная неоднородность является основной причиной анизотропии механических свойств в листах и готовых трубах, а также приводит к преждевременному разрушению металла в процессе длительной эксплуатации труб магистральных трубопроводов (деградационные отказы) из-за коррозионного растрескивания под напряжением (стресс-коррозии) [13].

Перспективным направлением повышения прочностных свойств, ударной вязкости и хладостойкости толстолистовых трубных сталей классов прочности Х100 и Х120 может быть не только дальнейшее совершенствование концепции их легирования и технологических режимов деформационно-термической (термомеханической) обработки, но и применение закалки с прокатного нагрева и последующего отпуска.

Закаленный и отпущенный толстолистовой прокат характеризуется достаточно однородной и равновесной мелкозернистой структурой, обеспечивающий однородность механических свойств, отсутствием внутренней напряженности и развитой деформационной текстуры. Применение закалки с отпуском повышает стойкость стали против водородного охрупчивания и стресс-коррозии в 1,5-2 раза, значительно увеличивая при этом длительность эксплуатации газопроводов до их деградационных отказов [14].

По всей вероятности завершающей операцией при производстве высокопрочных трубных сталей классов прочности Х100, Х120 и выше, работающих при давлениях 10-12 н/мм² и имеющих толщину 30-33 мм, в ближайшие годы должна стать высокотемпературная контролируемая прокатка с последующей закалкой с прокатного нагрева и высоким отпуском либо самоотпуском.

Таким образом, перспектива развития высокопрочных толстолистовых сталей и их конкурентоспособность с ведущими зарубежными производителями такого металла

требует оснащения толстолистовых станов современным закалочным оборудованием и новейшими системами автоматического контроля и регулирования технологического процесса на всех его этапах. Современные знания процессов структурообразования при горячей пластической деформации и термообработке позволяют сегодня разрабатывать и успешно реализовывать при производстве высокопрочных толстолистовых сталей эффективные и научнообоснованные упрочняющие технологии, обеспечивающие высокий комплекс свойств и значительный материалосберегающий эффект при их использовании.

Список литературы: 1. Понтремоли М. Высокопрочные стали для толстых листов, труб и профилей / М. Понтремоли, Л. Вебер, К. Долг и др. // Черные металлы. 2006, №9. – С. 58-66. 2. Таке К.Х. Последние достижения в области сталей для толстого листа / К.Х. Таке, Ф. Швинн // «Черные металлы», март 2006. – С. 79-84. 3. Брик С.Д. Повышение качества проката из низколегированных сталей упрочняющей термической обработки за рубежом «Черметинформация», бюллетень «Черная металлургия», 2006, №1, - С. 16-28. 4. Большаков В.И. Применение сталей повышенной и высокой прочности в металлоконструкциях / В.И. Большаков, В.В. Бабич // Сб. научн. трудов ИЧМ НАНУ «Фундаментальные и прикладные проблемы черной металлургии». Днепропетровск. – 2004, вып. 7. – С. 101-112. 5. Егоров Н.Т. Прокаливаемость и технология закалки крупногабаритных листов из низколегированных сталей для сварных металлоконструкций // «Металловедение и термическая обработка металлов». Научно-информ. журнал. – Днепропетровск, ПГАСА, 2013, №2-3. – С. 54-59. 6. Егоров Н.Т. Закалка крупногабаритных листов из малоуглеродистых низколегированных сталей // Сб. научн. трудов XXVIII Международной научно-технической конференции «Машиностроение и техносфера XXI века» - Донецк, ДонНТУ, 2021. – С. 207-209. 7. Белобров Ю.Н. Создание современного комплекса термообработки толстолистового проката на металлургическом заводе HSW-HUTA STALI, Польша / Ю.Н. Белобров, С.А. Гриценко, В.И. Елецкий и др. // ОАО «Черметинформация», бюллетень «Черная металлургия», 2008, №8. – С. 36-39. 8. Егоров Н.Т. Разработка технологии и освоение производства термоупрочненных листов на металлургическом заводе Huta Stalowa Wola в Польша / Н.Т. Егоров, А.Л. Остапенко, С.А. Гриценко. //Строительство, материаловедение, машиностроение. Сб. научн. трудов, вып.68. – Днепропетровск, ПГСА, 2012. – С. 167-172. 9. Долженков Ф.Е. Возможности и пути реализации совмещенной обработки толстолистового проката / Ф.Е. Долженков, М.С. Подгайский, А.П. Следнев // Сталь, 1987, № 4 - С. 84-85. 10. Матросов Ю.И. Разработка и технологический процесс производства трубных сталей в XXI века / Ю.И. Матросов, Ю.Д. Морозов, А.С. Болотов и др. // Сталь, 2001. №4. – С. 58-62. 11. Морозов Ю.Д. Применение термомеханической обработки для повышения прочности и хладостойкости высокопрочных сталей / Ю.Д. Морозов, С.Ю. Настич, М.Ю. Матросов, О.Н. Чевская // ОАО бюллетень «Черметинформация», 2013, №4. – С. 65-75. 12. Морозов Ю.Д. Высокопрочные трубные стали нового поколения с феррито-перлитной структурой / Ю.Д. Морозов, М.Ю. Матросов, С.Ю. Настич, А.Б. Арабей // Металлург, 2008, №8. – С. 39-42. 13. Седых А.Д. Стресс-коррозия на российских газопроводах / А.Д. Седых, М.М. Контор, А.Б. Арабей, В.Г. Антонов // Потенциал, 2002, №3.–С.46-50. 14. Голованенко С.А. Новые стали и технологические схемы производства толстого листа для газопроводных труб большого диаметра // Металлы, 2002, №5. – С. 36-46.

ВЗАИМОСВЯЗЬ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ И СТРУКТУРНОГО СОСТОЯНИЯ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ СПЛАВОВ ПО ДАННЫМ ЭКСПЕРИМЕНТОВ IN SITU

Ермишкин В.А., Кулагин С.П., Минина Н.А., Михайлов Д.Л.
(ИМЕТ РАН, Москва, Россия) Тел./факс: +7(499)1359668/+7(499) 1358680
eva@imet.ac.ru; minina1951@rambler.ru

Abstract: *The purpose of this work is to establish the relationship between the mechanical properties of materials and the parameters of their structural state. To do this, the deformation curve is described by an analytical function with parameters that are found using regression analysis of the experimental deformation curves of the materials under study. They are assigned a function of the structural state of the samples, built according to the analysis of video frames of the surface of the test subjects, taken in the process of their deformation, subjected to photometric analysis (PHASI). The experimental part of the work was carried out on a group of chromium-nickel alloys heat-treated for the structure of a solid solution Kh28Mo9N, G-35 (USA) and KhN62Mo13.*

Keywords: *mechanical properties of materials, structural state, photometric analysis, chromium-nickel alloys, deformation*

Мысль о том, что механические свойства металлов и сплавов определяются их структурным состоянием, стало общим местом в физическом металловедении. Однако, сколько-нибудь общая математическая форма, описывающая взаимосвязь механических свойств и структурных параметров, пока не установлена. Для описания структурного состояния кристаллических материалов используется много параметров, характеризующих различные аспекты структуры: их кристаллическое строение, фазовый и химический составы, типы дефектов кристаллического и металлургического характера. Эта многомерность понятия структуры затрудняет создания обобщенных структурных факторов или выбор параметра, отражающего физическую основу свойств, которыми обладают металлы и их сплавы. Для того, чтобы решить эту задачу, по нашему мнению, нужно преодолеть различия в методических условиях, при которых определяются параметры структурного состояния и физические свойства материалов. Эксперименты *insitu* позволяют обеспечить единство времени, места и условий измерения, как физических характеристик, так и структурных параметров исследуемых материалов. При этом возможно модифицировать требования к исследуемым образцам с тем, чтобы получать на них не только локальные, но и их интегральные значения. Для оценки механических свойств такую возможность дает аналитическое описание всей кривой деформирования путем ее аппроксимации. Это позволяет определить не только точечные значения стандартных механических характеристик, но и значения при любом значении деформации в пределах деформационной способности материала. В качестве обобщенного структурного параметра были использованы значения площади интервала спектра яркости отражения, снятого на фрагменте, используемом для оценки локальных механических характеристик. Использование отраженного от поверхности деформированного образца видимого света в качестве обобщенного структурного параметра основано на том, что оно является носителем информации о ее структурном преобразовании в результате деформирования образца, так как при этом кодируется изменения энергетического состояния поверхности, которое происходит при этом. Как показывает анализ размерности механических напряжений, их

физический смысл состоит в том, что они являются удельной энергией нагруженного материала. Энергия поверхности образца приобретает смысл его поверхностной энергии.

Целью настоящей работы является проверка возможности выразить взаимосвязь структуры, механических свойства структурных параметров в виде их обобщенного представления.

1. Материал и методики исследования

Экспериментальная часть работы выполнена на новом отечественном коррозионностойком никельхромовом сплаве для работы в температурном интервале 600-750°C, призванном заменить импортные сплавы аналогичного назначения. Химический состав сплава был разработан членом авторского коллектива в ИМЕТ РАН (патент Михайлова Д.Л.), а комплексные исследования по разработке его технологии, его обработки, оценки и анализу свойств в разных структурных состояниях были выполнены по инициативе и участии ИМЕТ РАН. Из листов сплава, который получил название «Раствор-Н» (X28Mo9N), толщиной 5 мм были изготовлены образцы для испытания для сравнения с уже существующими аналогичными по назначению и составу сплавам, химический состав которых показан в таблице №1.

Таблица №1. Химический состав исследуемых сплавов в мас. %

Сплавы	Ni	Cr	Mo	Al	Fe	Mn	C	La	Nb	B	Si	S	N
X28Mo9N (1)	60,2	29,6	8,75	0,21	0,011	0,0033	0,0025	0,0012				0,002	0,002
XN62Mo13(2)	62	33	6	0,22			0,01		0.3				
G-35(3, 4)		22	8-6		1,22	0,22	0,08			0,002		0,002<0	0,0012

Перед испытаниями образцы были термообработаны по режимам, приведенными в таблице №2

Таблица №2. Режимы термообработки сплавов соответствуют названиям сплавов в таблице № 1.

№ сплава	Режимы ТО		Охлаждение	Отжиг		Охлаждение
	T, C°	t, мин.		T, C°	t, мин.	
1	1121	20	Вода			
2	1121	20	Вода	800	30	воздух
3	1121	20				
4	1093/15	1135/15	Вода	800	30	воздух

Образцы были испытаны на универсальной машине типа «Инстрон-3382» на растяжение со скоростью 1 мм/мин. при комнатной температуре.

Связь структурных параметров и механических свойств исследуемого сплава X28Mo9N будем искать в виде зависимостей: $\sigma_o = f(\varphi)$ и $K = f(\varphi)$, где: σ_o – предел текучести, K – коэффициент параболического упрочнения, φ – обобщенный показатель структурного состояния. Параметры σ_o и K определяются из уравнения (1), которое получают путем аппроксимации экспериментальной кривой растяжения [1-3].

$$\sigma = \sigma_0 + K \cdot \sqrt{\varepsilon_i} \quad (1)$$

где: σ - условный предел текучести, ε - условная пластическая деформация. Следует отметить, что значения σ_0 , ε_0 берутся в истинных значениях, которые получены на основе предположения о неизменности объема деформированного материала образца в процессе деформирования в виде: $\sigma_0 = \sigma \cdot (1 + \varepsilon)$ и $\varepsilon_0 = \ln(1 + \varepsilon)$. Использование истинных координат позволяет представить кривую растяжения в простейшем виде в координатах « σ_0 , ε_0 » (рис. 1, 2). Кроме того, регрессионный анализ результатов механических испытаний исследуемых сплавов позволяет получить их аналитическое представление с минимальным числом параметров. На рис.1 показана машинная кривая растяжения исследуемого сплава (обр. 3). Геометрическая форма таких кривых подсказывает класс функций, которые дают их математическое описание кривых деформирования в координатах « $\sigma_i - \varepsilon_i^{1/2}$ ». Из сопоставления рисунков 1 и 2 в наглядной форме видны преимущества в представлении результатов испытания на растяжение.

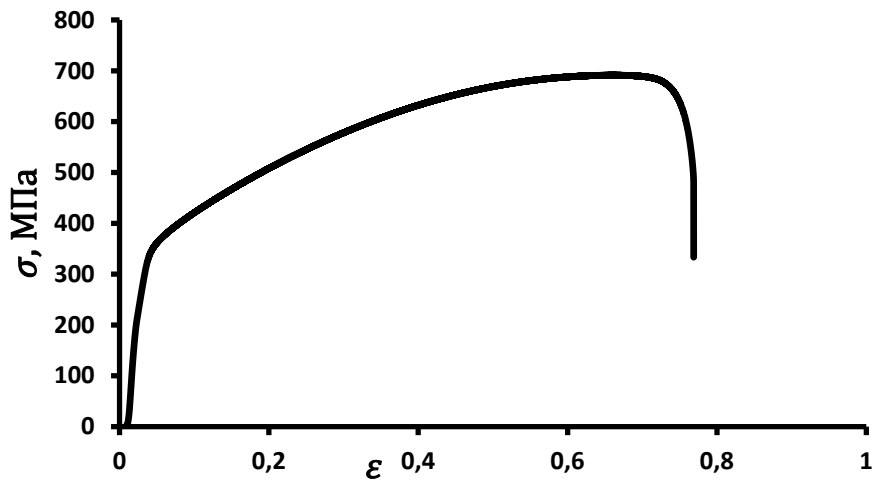


Рис. 1. Кривая растяжения образца сплава G-35 (3) в условных координатах

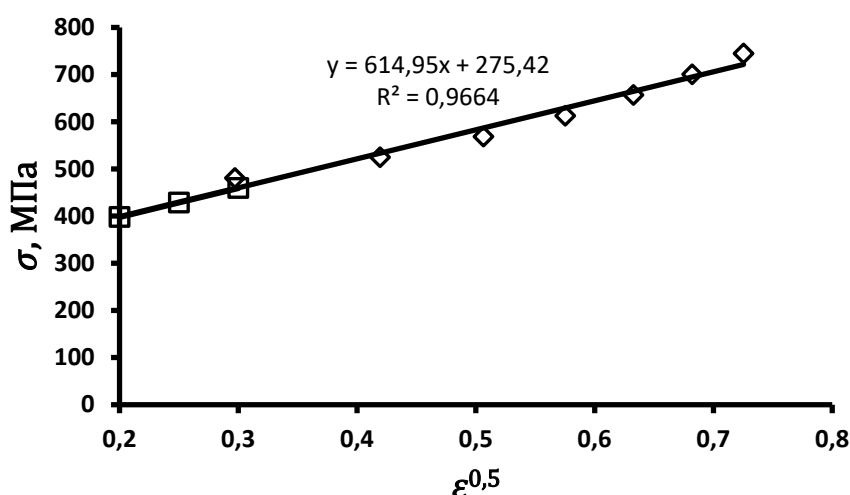


Рис. 2. Кривая растяжения сплава G-35 (3) в истинных координатах

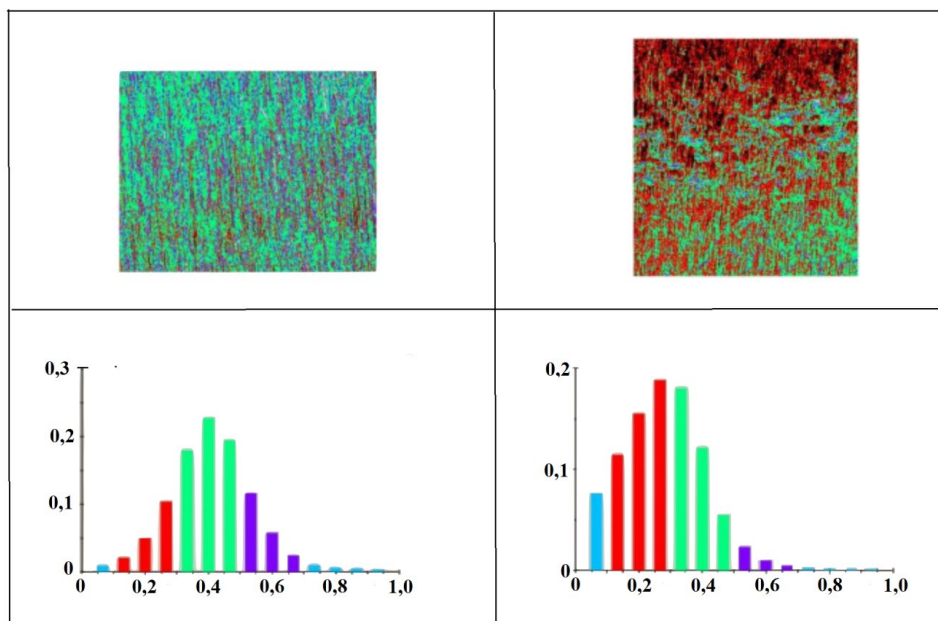
Уравнение регрессии для графика, изображённого на рис.2 можно записать в виде:

$$\sigma_i = \sigma_o + K \cdot \sqrt{\epsilon_i} \quad (2)$$

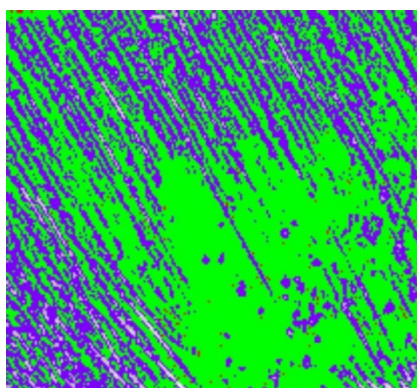
Обобщенный структурный показатель ϕ находят методом ФАСИ поверхности выбранного фрагмента исследуемого объекта видимого света в качестве универсального обобщенного критерия структурного состояния материала. ФАСИ представляет собой программно-вычислительный комплекс, в котором происходит построение спектра яркости отражения видимого света от поверхности исследуемого фрагмента. В качестве плотности спектра яркости (D_c) используется отношение количества пикселей с яркостью в заданном интервале интенсивностей (n_i) отражения к общему числу пикселей (N), на которое разбивается поверхность фрагмента, т.е.:

$$D_c = \frac{n_i}{N} \quad (3)$$

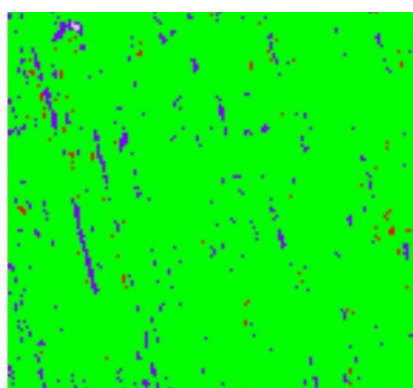
Интеграл от спектра яркости отражения (площадь под спектральной кривой яркости отражения) и является обобщенным критерием структурного состояния материала. Следует отметить, что известны многочисленные попытки использовать в качестве таких критериев плотность дислокаций [2], размеры субзерен и зерен [3], плотность дисперсных частиц [4]. Однако, эти попытки нельзя признать удачными, так как при их использовании локальным структурным параметрам, определяемым в статических условиях, приходится вставить в соответствие интегральным механическим характеристикам, определенным в динамических условиях. Структура понятие многомерное и попытки ограничиться только с учетом одного из видов дефектов врядли является удовлетворительным решением. Техника экспериментов *in situ* позволяет устранить многие недостатки отдельного изучения механических свойств и структурных параметров [5]. ФАСИ позволяет вскрыть структурные особенности материалов. На рис.3 показаны результаты сопоставления типичных фрагментов сплавов.



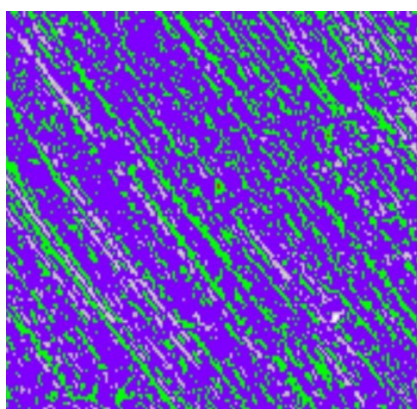
a)



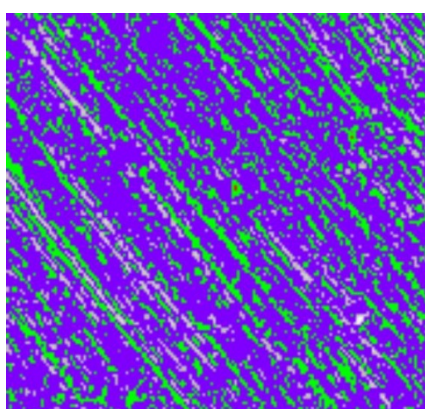
a) №2



b) №1



c) №3



d) №4

Рис. 3. Результаты исследования хромоникелевых сплавов. Сопоставление структур и спектров яркости отражения фрагментов образцов сплавов: а) (2); в) (1); с) (3); в) (4)

Таблица 3. Результаты механических испытаний и исследований по ФАСИ

Сплавы	σ_0 , МПа	K , МПа	ε_r	R^2	φ
X28M9H	86,55	1655	0,722	0,993	0,2581
XH62M13	393	539,8	0,581	0,966	0,3838
G-35	275,4	614,8	0,903	0,966	0,3913
G-35	156,1	1349	0,495	0,985	0,403

Связь структурных параметров и механических свойств исследуемого сплава X28Mo9H будем искать в виде зависимостей: $\sigma_0 = f(\varphi)$ и $K = f(\varphi)$, где σ - предел текучести, K – коэффициент параболического упрочнения, φ – обобщенный показатель структурного состояния. Параметры σ_0 и ε_0 определяются из уравнения (1), которое получают путем аппроксимации экспериментальной кривой растяжения [1-3].

$$\sigma = \sigma_0 + K \cdot \sqrt{\varepsilon_0} \quad (1)$$

где: σ_0 - условный предел текучести, ε - условная пластическая деформация. Следует отметить, что значения σ_0 , ε_0 берутся в истинных значениях, которые получены на основе предположения о неизменности объема деформированного материала образца в процессе деформирования в виде: $\sigma_0 = \sigma \cdot (1 + \varepsilon)$ и $\varepsilon_0 = \ln(1 + \varepsilon)$.

Использование истинных координат позволяет представить кривую растяжения в простейшем виде в координатах « σ_0 , ε_0 » (рис. 1, 2). Кроме того, регрессионный анализ результатов механических испытаний исследуемых сплавов позволяет получить их аналитическое представление с минимальным числом параметров. На рис. 1. показана машинная кривая растяжения исследуемого сплава (обр. 3). Геометрическая форма таких кривых подсказывает класс функций, которые дают их математическое описание.

Список литературы: 1. Белл Ф. Дж Экспериментальные основы механики деформируемых твердых тел. В 2-х ч.: Москва: Наука: 1984 431 с. 2. Гордиенко Л.К., Геминев В.Н., Иванова В.С. Роль дислокаций в упрочнении и разрушении металлов: - Москва: Наука, 1965. - 180 с. 3. Иванова В.С., Ермишкин В.А. Прочность и пластичность тугоплавких металлов и монокристаллов. - Москва: Металлургия, 1976. - 80 с. 4. Новиков И.И., Ермишкин В.А. Микро механизмы разрушения металлов - Москва: Наука, 1991. – 365 с. 5. Новиков И.И., Ермишкин В.А. Физическая механика реальных материалов. М.: Наука, 2004. - 328 с.

МЕХАНИЗМ ФОРМИРОВАНИЯ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ МОНОКРИСТАЛЛИЧЕСКОГО МОЛИБДЕНА ПО ДАННЫМ ЭКСПЕРИМЕНТОВ IN SITU

Ермишкин В.А., Минина Н.А., Палий Н.А., Кулагин С.П.
(ИМЕТ РАН, Москва, Россия) Тел./факс: +7(499)1359668/+7(499) 1358680
eva@imet.ac.ru; minina1951@rambler.ru

Abstract: *The aim of this work is to develop a method for assessing the characteristics of the stress state of materials based on photometric analysis of structural images. It is shown that the area under the spectral brightness curve of the reflection of visible light from the surface of a fragment of the test object can be used as a generalized structural parameter of the material. Based on the photometric analysis of structural images associated with the analysis of mechanical tests, a method for non-contact determination of the stress state parameters of the materials under study was developed.*

Keywords: *mechanical properties of materials, structural state, photometric analysis, chromium-nickel alloys, deformation*

Современная практика применения техники экспериментов in situ в основном ограничена высоковольтной электронной микроскопией (ВЭМ) [1]. Эти эксперименты дают наглядные представления о элементарных процессах деформации и разрушении, позволяют установить кристаллогеометрические и кинетические закономерности этих процессов [2]. Однако получить информацию в терминах анализа напряженно-деформационного состояния (НДС) материалов, формирующегося при этом, достаточно затруднительно [3, 4]. Это связано с многими обстоятельствами: малым размером образцов, в частности, приготовить для этих целей методики, используемые для макроскопических тел, трудно обеспечить совершенство геометрической формы образцов. Малое отношение размеров миниатюрных образцов и их характерных структурных материалов не дает возможности интерпретировать полученные результаты как характеристики поликристаллических материалов. Их следует рассматривать как характеристики конкретных микро образцов. По этим причинам разработка методов оценки параметров НДС применительно к экспериментам in situ в ВЭМ или универсальных методов оценки НДС применимых к экспериментам как и в электронной микроскопии, так и при обычных испытаниях макроскопических образцов. Для этого нужно оснастить их видеокамерами, для непрерывной съемки рабочих поверхностей не теряет своей актуальности. Целью настоящей работы является разработка метода оценки характеристик напряженного состояния материалов на основе фотометрического анализа структурных изображений (ФАСИ) [5, 6].

Материал и методики исследования

Экспериментальная часть исследования выполнена на плоских образцах, которые были получены из заготовок толщиной 1 - 2,1 мм, которые вырезали из монокристалла молибдена с $\varnothing 18$ мм. Заготовки деформировали прокаткой, доводили до 0,5 мм. Прокатка осуществлялась по разным режимам, отличающихся величиной деформации и числом проходов. Ширина рабочей части образца имела 4 мм

поверхность образцов шлифовалась. Рабочая длина образцов составляла 10 мм и ее ширина равна 4 мм. Суммарная деформация $\Sigma \varepsilon$ изменялась в диапазоне 113-138%. После прокатки образцы подвергались отжигу при температуре 800°C. Кристаллографическое направление оси образцов совпадало с кристаллографическим направлением [110], а на их рабочую поверхность были выведены плоскости {001}. Всего были подготовлено 24 образца, отличавшиеся значением суммарной деформации до разрушения на испытательной машине «Инстрон-3382» со скоростью $1,7 \cdot 10^{-3} \text{сек}^{-1}$. По своим механическим свойствам испытанные образцы можно разделить на три группы (I, II и III), отличающиеся значениями механических характеристик, видами кривых деформирования и кристаллогеометрическими особенностями формирования магистральных трещин. В таблице №1 приведены результаты механических испытаний образцов (1 - 4), которые являются представителями всех трех групп, составленных из образцов проявивших типичные механизмы формирования деформационных структур и траекторий магистральных трещин. Фрактографический анализ наблюдаемых признаков действия развития разрушения приводят к выводу, что образцы I и III групп разрушены по дислокационно-сдвиговому механизму разрушения, установленному в ИМЕТ РАН в экспериментах *in situ*, проведенных в высоковольтном электронном микроскопе на монокристаллических микро образцах молибдена, железа и в отдельных крупных зернах нержавеющей стали [2]. Для дислокационно-сдвигового механизма разрушения характерно: 1) формирование зародышевых трещин путем соскальзывания смежных частей образца по действующим плоскостям скольжения в результате многократного действия источников дислокаций; 2) источниками дислокаций, формирующих трещины, являются фронты зародышевых трещин, которые генерируют их до момента, когда напряжения в вершине трещины станут меньше тех, которые создаются приложенными к образцу нагрузками; 3) после этого действие источников в вершинах первичных трещин прекращается и начинается генерация дислокаций в сопряженной системе скольжения из вершин вторичных трещин, которые были подготовлены в пластических зонах первичных трещинах; 4) при действии дислокационно-сдвигового механизма разрушения как первичные, так вторичные трещины формируются в кристаллографических направления линий скольжения, которые оставляют дислокации в месте пересечения их плоскостей скольжения с плоскостями рабочих поверхностей образцов.

Таблица №1. Механические свойства типичных образцов из 3 групп с различным поведением при испытаниях

№ образцов	Механические свойства				Технология обработки, прокатка	Вид разрушения
	$\sigma_{0,2}$, МПа	σ_b , МПа	δ	ψ		
1 (I)	376	417	0,226	0,0112	вдоль+ТО	Кристаллический
2 (II)	423	470	0,269	0,212	вдоль+ТО	Нормально к нагрузке
3 (III)	424	473	0,084	0,0216	та же, но $h > \text{мм}$	Кристаллический
4 (III)	391	472	0,083	0,077	вдоль и поперек +ТО	Кристаллический

Наглядное представление о различиях в характере разрушения образцов упомянутых трех групп, данные которых содержатся в таблице №1, можно получить из непосредственного сравнения мест локализация разрушения.

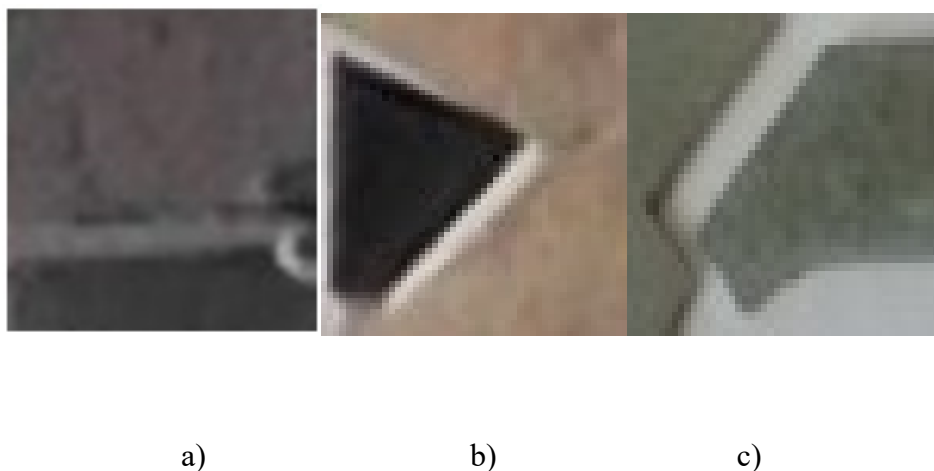


Рис. 1. Типичные картины разрушения образцов, упомянутых трех групп: а) I группа, б) II группа, в) III группа

При выбранной кристаллогеометрии образцов действующими системами скольжения дислокаций, согласно стереографической проекции для кубической системы, могли быть: $(\bar{1}01)[1\bar{1}1]$, $(101)[\bar{1}11]$, $(011)[\bar{1}11]$, $(0\bar{1}1)[111]$, $(011)[1\bar{1}1]$. Индексы Миллера линии пересечения плоскостей рабочей поверхности образца и действующей плоскости скольжения определяются из соотношения (1):

$$\begin{array}{cccccc}
 h_1 & | & l_1 & k_1 & h_1 & l_1 & | & k_1 \\
 & & \times & & \times & & & \times \\
 h_2 & | & l_2 & k_2 & h_2 & l_2 & | & k_2
 \end{array} \quad (1)$$

Проведенные расчеты показали, что плоскости скольжения пересекают плоскость, совпадающей с верхней поверхностью образца по направлениям: 1) $[010]$, 2) $[0\bar{1}0]$, 3) $[100]$, 4) $[\bar{1}00]$. В таблице №2 приведены результаты расчетного и экспериментального определения углов, которые образуют кристаллографические трещины между собой в случае их пересечения и с осью образца, если трещины одиночные.

Таблица №2. Углы между кристаллографическими направлениями трещин на рабочих поверхностях испытанных образцов

Характер трещин на поверхности образцов	Углы между трещинами и трещинами	
	Теоретическая [3]	Экспериментальная
Однонаправленные	71,57°	72°
Пересекающиеся	90°	90°

Углы между осью образца и направлением однонаправленными трещинами в таблице №2 можно определить по формуле:

$$\cos \alpha = \frac{(\bar{a} \cdot \bar{b})}{\sqrt{\bar{a}^2 \cdot \bar{b}^2}} \quad (2)$$

где: 1) $\bar{a} = [110]$. $\bar{b} = [010]$, 2) $\bar{a} = [100]$. $\bar{b} = [010]$

Обсуждение полученных результатов

В условиях экспериментов *in situ* не составляет труда синхронизировать компьютерную регистрацию данных механических испытаний и видеозаписи

наблюдений за структурной эволюцией на рабочей поверхности испытываемых образцов, что создало возможность установить взаимозависимость механических свойств и параметров структурного состояния исследованных материалов. Анализ размерностей механических напряжений показывает, что по своему физическому смыслу они представляют удельную энергию материала в момент их измерения. С другой стороны, покадровый анализ соответствующей видеозаписи, осуществляемый фотометрическим анализатором структурных изображений (ФАСИ), позволил количественно оценить долю потока видимого света, которая аккумулируется удельной поверхностью рабочей части образцов. По существу это дает возможность измерить ее удельную энергоёмкость в относительных единицах. Следует отметить, что спектр яркости отраженного светового потока и математические операции над ними позволяют выделить ту его часть, которая возникает за счет повышения энергоёмкости в результате пластической деформации материала. Проведенные эксперименты показали, что энергетические воздействия на материал любой физической природы непременно вызывают количественные и качественные изменения спектров яркости отражения света от поверхности исследуемого объекта. Спектры яркости отражения видимого света можно считать индикатором энергетического состояния материала, а площадь под спектрами в координатах «плотность спектра - интенсивность отражения видимого света» можно рассматривать как обобщенный критерий структурного состояния материала φ . Таким образом, становится возможным установить взаимно однозначное соответствие между механическими свойствами и обобщенным структурным параметром. На рис. 2 в качестве примера показан график зависимости $\sigma = f(\varphi)$ для молибденового образца (001)[110]

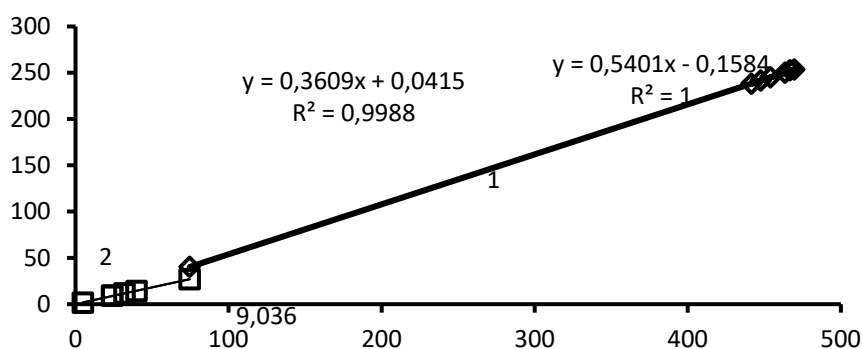


Рис. 2. Тарировочный график функции $\sigma/\varphi = f(\sigma)$. Для образца (4 (Ш)): 1 - построен по данным ФАСИ, 2 - построен по рентгеновским данным (данные С.Н. Серебряного)

Уравнения регрессии для графиков на рис. 2. и коэффициентов репрезентативности (R^2) имеют вид: 1 - $\diamond \sigma \cdot \varphi = 0,540 \cdot \sigma - 0,158$, $R^2 = 1$, 2 - $\square \sigma \cdot \varphi = 0,360 \cdot \sigma + 0,041$ $R^2 = 0,998$

Коэффициент репрезентативности служил критерием при выборе функции, описывающей экспериментальные данные, полученные методом ФАСИ. На рис. 3, 4 показаны такие же зависимости для таких же образцов монокристаллического молибдена, но обработанные по другим режимам.

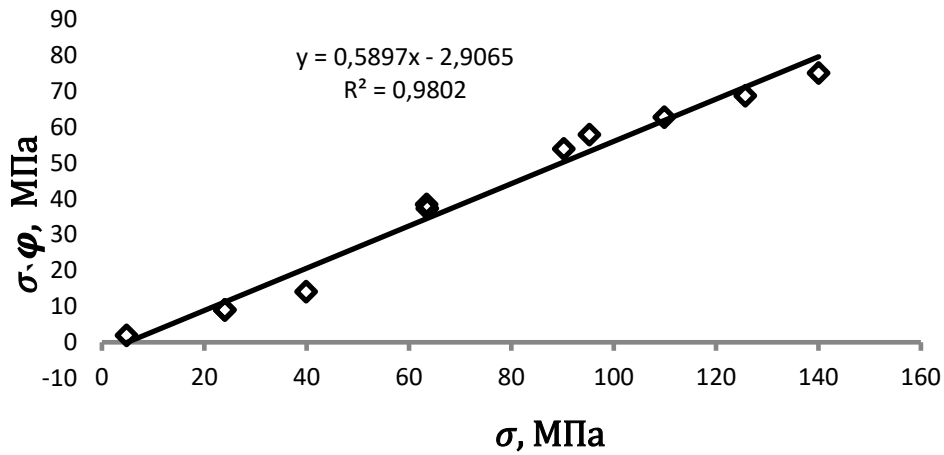


Рис. 3. Тарировочный график $\sigma/\varphi = f(\sigma)$

График, изображенный на рис. 3., был выбран в качестве тарировочного, как наиболее типичный для всей серии испытанных образцов.

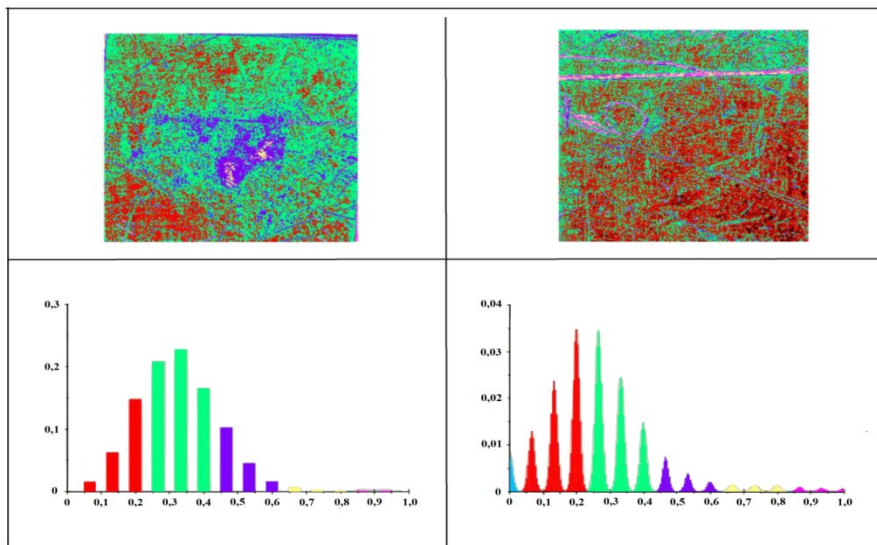


Рис. 4. Обобщенный результат применения ФАСИ для образца монокристаллического молибдена.

На Рис. 4. Слева сверху фрагмент образца до начала деформирования, под ним спектр яркости отражения видимого света, справа соответственно сверху тот же фрагмент, но после деформирования, под ним соответствующий спектр яркости отражения. Сравнение данных рис. 4 показывает, что даже в исходном состоянии структура материала неоднородна. В процессе деформирования неоднородность структуры увеличивается, так как увеличились как спектральная плотность структурных составляющих, так и интенсивность отражения от них.

ВЫВОДЫ:

1. В результате проведенных экспериментов было подтверждено, что серия макроскопических образцов были разрушены при деформировании по дислокационно-сдвиговому механизму, ранее установленным в экспериментах *in situ* в колонне высоковольтного электронного микроскопа (1986г).

2. Показано, что в качестве обобщенного структурного параметра материала можно использовать площадь под спектральной кривой яркости отражения видимого света от поверхности фрагмента испытуемого объекта.

3. На основе фотометрического анализа структурных изображений (ФАСИ) сопряженных с анализом механических испытаний разработан метод бесконтактного определения параметров напряженного состояния исследуемых материалов.

4. Методом ФАСИ установлено, что в результате деформирования в монокристаллах молибдена существенно увеличивается спектральная плотность яркости отражения видимого света и расширяется диапазон его интенсивности.

Список литературы: 1. И.И. Новиков, В.А. Ермишкин, В.С. Гребнева Исследование механизма вязкого разрушения монокристаллов молибдена методом высоковольтной электронной микроскопии - Физика твердого тела Т 25, №7, 1983 С. 2096-2104 2. Pare V.K., Crump J.C. Equilibrium of dislocations under stress compression of experimental observations with theory, Journal of Applied Phys 1969, V. 40. № 2 P 790-793 3. Новиков И.И., Ермишкин В.А. Физическая механика реальных материалов. М.: Наука, 2004. - 328 с. 4. Новиков И.И., Ермишкин В.А. Микромеханизмы разрушения металлов - Москва: Наука, 1991. – 365 с. 5. Ермишкин В.А., Лепешкин Ю.Д., Мурат Д.П., Овчинников И.Н. «Способ фотометрической диагностики структурного состояния материалов по данным анализа цифрового кодированного изображения их поверхности». Патент №2387974, 2010. Бюл. № 12. 6. Ермишкин В.А., Минина Н.А., Федотова Н.Л. «Способ фотометрической диагностики фазовых превращений в твердых телах по данным анализа спектров яркости отражения света от их поверхности», Патент №2387978, 2010. Бюл. №12.

ПРОЕКТ ЗЕРНОВОГО ПОРТОВОГО ТЕРМИНАЛА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МОЩНОЙ ПНЕВМОТРАНСПОРТНОЙ УСТАНОВКИ

Жилинков А.А. (ФГБОУ ВО «УГГУ», г. Екатеринбург, Россия)

Тел. 8(343) 283-06-71; E-mail: gmf.gmk@m.ursmu.ru

***Abstract:** The issues of transshipment of grain cargoes delivered by road to ports are considered. In order to reduce the economic damage from the impact of motor transport, a grain terminal with a powerful pneumatic transport unit is proposed. A feasibility study of the new option was carried out. The basis has been created for the development of a method for selecting the type of scheme of a powerful grain pneumatic transport unit*

***Keywords:** Grain cargo, terminal, pneumatic transport unit*

Российская Федерация является одним из мировых лидеров по экспорту зерновых грузов, которые отгружаются через морские и речные порты. Объемы экспорта зерна и продуктов его переработки за последние годы составили 45-60 млн. т в год и они продолжают увеличиваться [1]. Основной объем зерновых на экспорт отгружается в морских и речных портах. В тройку портов с наибольшими перерабатывающими способностями входят: МПП «Новороссийск» – до 14,7 млн. т в год, МПП «Кавказ» - до 7,6 млн. т и МПП «Ростов-на-Дону» – до 3,9 млн. т [2].

В то же время большинство портов имеют значительно меньшие объемы переработки зерновых грузов – до 0,3-1,5 млн. т в год. Объемы переработки и отгрузки зерновых грузов зависят от многих факторов: конъюнктуры рынка, географического положения порта, урожайности, наличия производственных мощностей, степени развитости инфраструктуры порта и региона в целом. Доставка зерна в порты с малым грузооборотом (0,5-1,0 млн. т) осуществляется, как правило, автомобильным транспортом с использованием автопоездов-«зерновозов» полной массой 30-40 т.

В отдельных портах подача «зерновозов» идет по сложной траектории улично-дорожной сети в сложных дорожных условиях. Подъездная автодорога может быть тупиковой, иметь ограниченную ширину и весьма малую пропускную способность. В районах со сложным рельефом, территория промышленной площадки порта находится на уровне моря, а выход с магистральных автодорог - значительно выше (до 50-60 м). Перевозки зерна могут иметь сезонный характер, их интенсивность в сезонный период резко возрастает (до 100-300 авт./сут.) [3].

Рассмотренные условия и особенности перевозок зерновых грузов приводят к загромождению подъездного пути, прилегающих дорог и территорий, созданию значительных помех общественному и личному транспорту, увеличению фактической грузонапряженности, запыленности, шумности на дорогах и улицах, а также снижению их пропускной и провозной способности.

В результате, рассматриваемые перевозки наносят значительный ущерб муниципальной инфраструктуре, дорожной сети, увеличивается аварийность на дорогах, ухудшаются условия движения и экологические показатели. Это способствует возникновению и росту всякого рода экономических потерь.

Одним из решений рассматриваемой проблемы может быть незначительное расширение портовой территории за счет обустройства периферийного зернового терминала с пневмотранспортной установкой. Данный терминал должен быть расположен за территорией порта (на расстоянии 400-600 м). Высотная отметка разгрузочной площадки терминала, на которую нужно подводить автотранспорт с внешней сети, составит 40-60 м (зависит от рельефа местности). Разгрузочная площадка оборудуется приемным бункером (бункерами), в который производится разгрузка зерновых грузов. Из приемных бункеров зерно подается к портовым бункерам большого объема с помощью пневмотранспортной установки. Тип и схема

пневмотранспортной установки, а также ее технические параметры устанавливаются расчетным путем по известным методикам [4].

Ниже приведено технико-экономическое обоснование (ТЭО) проектирования и строительства предложенного терминала с пневмотранспортной установкой. ТЭО выполняется расчетным путем с целью сравнительного анализа экономических затрат, убытков и потерь. Экономические показатели рассчитываются для двух вариантов с учетом стоимости строительства терминала. Усовершенствованная методика расчетов для выполнения ТЭО приведена ниже.

Экономические издержки, потери и убытки по существующим вариантам оцениваются выражением:

$$C_{\text{пот}}^{\text{ОБЩ}} = C_{\text{пот}}^{\text{ДОР}} + C_{\text{пот}}^{\text{ПС}} + C_{\text{пот}}^{\text{ДТП}} + C_{\text{пот}}^{\text{ЭК}}, \quad (1)$$

где $C_{\text{пот}}^{\text{ОБЩ}}$ - общие годовые потери при существующей системе перевозок, тыс. руб;

$C_{\text{пот}}^{\text{ДОР}}$ - годовые экономические потери на ремонт, реконструкцию и эксплуатацию автомобильных дорог, сооружений, средств регулирования, тыс. руб.;

$C_{\text{пот}}^{\text{ПС}}$ - годовые экономические потери от простоев подвижного состава в ожидании разгрузки, тыс. руб.;

$C_{\text{пот}}^{\text{ДТП}}$ - годовые экономические потери от аварийности, тыс. руб.;

$C_{\text{пот}}^{\text{ЭК}}$ - годовые экологические потери, тыс. руб.

Общие затраты на проектирование и строительство автомобильного терминала с пневмотранспортной установкой определяются по формуле:

$$K_0 = K_{\text{пр}} + K_{\text{зр}} + K_{\text{м}} + K_{\text{стр}}, \quad (2)$$

где $K_{\text{пр}}$ - затраты на проектирование, тыс. руб.;

$K_{\text{зр}}$ - затраты на проведение земляных работ, тыс. руб.;

$K_{\text{м}}$ - стоимость материалов, оборудования и устройств для строительства, тыс. руб.;

$K_{\text{стр}}$ - затраты на строительство, тыс. руб.

Предварительные расчеты показали, что годовой экономический эффект составил более 350 млн. руб., при этом срок окупаемости строительства равен примерно 2,2 года. Приведенные результаты получены с учетом общей величины автомобильного грузопотока зерновых в объеме 1,0 млн. в год.

Однако, подобные пневмотранспортные установки для зерновых грузов при столь значительных объемах переработки в рассматриваемых условиях рельефа местности не проектировались. Поэтому данная проблема является весьма актуальной и требует дальнейших исследований.

Дальнейшие исследования будут связаны с разработкой метода выбора типа и схемы пневмотранспортной установки и их технических параметров (диаметр трубопровода, их число, мощность насосов, объем бункеров и др.) в зависимости от условий эксплуатации (объем переработки, рельеф, расстояние транспортировки).

Список литературы: 1. Агроновости: [Электронный ресурс]. – URL: <https://агроновости.рф/rossiya-eksportirovala-rekordnye-obemy-zerna>. (дата обращения: 07.06.2023). 2. Zerno.ru: [Электронный ресурс]. – URL: <https://zerno.ru/node/19858>. (дата обращения: 08.06.2023). 3. Жилинков А. А. Оценка грузонапряженности улично-дорожной сети г. Мариуполя / А. А. Жилинков // Наука и производство: межвузовский сб. науч. трудов. – Мариуполь, 2018. – Вып. 18. – С. 24-31. 4. Спиваковский А. О., Дьячков В. К. Транспортирующие машины. - М.: Машиностроение, 1983. - 487 с.

ПРИМЕНЕНИЕ УСТРОЙСТВ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА РАЗМЕЩЕНИЯ В МУЛЬТИПРОЦЕССОРНЫХ СИСТЕМАХ ВЫСОКОЙ ГОТОВНОСТИ

Иваненко К.А., Борзов Д.Б. (ЮЗГУ, г. Курск, Россия)

Тел./Факс: +7 (991) 3315455; E-mail: k.iwanenko@gmail.com

Abstract: The placement of tasks in high-availability multiprocessor systems with a matrix topological organization is considered, structural and functional diagrams of the corresponding devices for planning and estimating the placement quality are given.

Key words: task, placement, multiprocessor, device, topology, matrix system.

Введение

Мультипроцессорные системы (МС) в настоящее время являются широко распространенным классом вычислительных комплексов и систем. При этом они имеют высокую степень параллелизма [1,2]. Очевидно, что в системах высокой готовности (слежение, наблюдение, прицеливание, метеосистемы и т.п.) требуется снижение времени межпроцессорного обмена в МС. Типологически такие МС, как правило, имеют матричную организацию.

Постановка задачи

Исходная задача (процесс, алгоритм, программа) представляется в виде двунаправленного взвешенного графа $G=\langle X,E \rangle$ (см. рис. 1), вершины $x_i \in X$ которого соответствуют подзадачам (подалгоритмам, подпрограммам и т.п.), а дуги $e_{ij} \in E \subseteq X \times X$ задают управляющие и/или информационные связи между подзадачами и фактически являются каналами передачи данных [3].

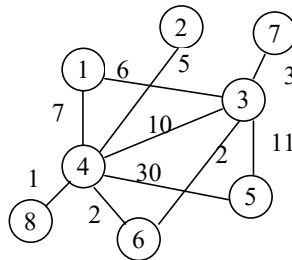


Рис.1 Граф задачи

Граф G [3] (рис. 1) может быть описан матрицей смежности

$$W = \left\| w_{ij} \right\|_{N \times N} \quad (1)$$

где $N = n^2 = |X|$; w_{ij} – объем передаваемых данных между i -м и j -м процессорным модулем.

	1	2	3	4	5	6	7	8
1	0		6	7				
2		0		5				
3	6		0	10	11	2	3	
4	7	5	10	0	30			1
5			11	30	0			
6			2			0		
7			3					
8				1				

Рис.2 Матрица смежности графа G

Топологическая модель (область размещения) задается матрицей расстояний (MP) D . Элементы матрицы расстояний $D = \|d_{ij}\|_{n \times n}$ ($N = n^2 = |H|$) для графа (см. рис.1), представлена на рисунке 3.

	1	2	3	4	5	6	7	8
1	0	1	2	1	3	2	1	3
2	1	0	1	2	3	4	1	3
3	2	1	0	1	1	3	2	2
4	3	2	1	0	2	1	2	2
5	1	3	1	2	0	1	2	1
6	2	4	3	1	1	0	3	1
7	1	1	2	2	2	3	0	1
8	3	3	2	2	1	1	1	0

Рис.3 Матрица смежности графа G

Мультипроцессорная система представляется топологической моделью в виде графа

$$H = \langle P, V \rangle \quad (2)$$

где $P = \begin{Bmatrix} P_{1,1} & P_{1,2} & \dots & P_{1,n} \\ P_{2,1} & P_{2,2} & \dots & P_{2,n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ P_{n,1} & P_{n,2} & \dots & P_{n,n} \end{Bmatrix}$ - множество идентификаторов процессорных модулей МС, организованных в матрицу $|P|_{n \times n}$, где мощность

$|P| = N = n^2$ - число соответствующих процессорных модулей; V - множество межмодульных связей, задаваемых матрицей смежности $\|W\|_{N \times N}$ размером $n^2 \times n^2$.

Матрица расстояний D строится по матрице смежности графа H . Если непосредственной связи между модулями в базовом блоке нет, то элемент $MP: d_{ij}$ - минимальное межмодульное топологическое расстояние, которое вычисляется как кратчайший путь от вершины p_i до вершины p_j в графе H , измеренный числом последовательно соединенных каналов.

Тогда, размещение пакета программ (комплекса задач), описываемых графом G в параллельной системе (ПС) может быть аналитически описано отображением

$$\beta_s = \begin{Bmatrix} x_{S_{1,1}} & x_{S_{1,2}} & \dots & x_{S_{1,k}} & \dots & x_{S_{1,n}} \\ x_{S_{2,1}} & x_{S_{2,2}} & \dots & x_{S_{2,k}} & \dots & x_{S_{2,n}} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_{S_{q,1}} & x_{S_{q,1}} & \dots & x_{S_{q,k}} & \dots & x_{S_{q,n}} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_{S_{n,1}} & x_{S_{n,2}} & \dots & x_{S_{n,k}} & \dots & x_{S_{n,n}} \end{Bmatrix} \rightarrow \begin{Bmatrix} P_{1,1} & P_{1,2} & \dots & P_{1,k} & \dots & P_{1,n} \\ P_{2,1} & P_{2,2} & \dots & P_{2,k} & \dots & P_{2,n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ P_{q,1} & P_{q,2} & \dots & P_{q,k} & \dots & P_{q,n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ P_{n,1} & P_{n,2} & \dots & P_{n,k} & \dots & P_{n,n} \end{Bmatrix} \quad (3)$$

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

Здесь s - это номер очередной перестановки, соответствующий s -му варианту размещения.

Матрица смежности и расстояний, реализованная в [3] позволяет сформулировать задачу размещения [5-6].

Пусть Ψ – множество всевозможных отображений вида (1). Тогда задачу размещения, можно сформулировать как поиск отображения $\beta^* \in \Psi$, такого, что

$$T_{\beta^*} = \min_{\Psi} \{ \max_{\beta_s \in \Psi} \{ T_{\beta_s}(p_{a,b}, p_{x,y}) \} \}, \quad (4)$$

где $T_{\beta_s}(p_{a,b}, p_{x,y})$ – коммутационная задержка при передаче данных между модулями $p_{a,b}$ и $p_{x,y}$, соответствующая отображению β_s , которая рассчитывается как произведение

$$T_{\beta_s}(p_{a,b}, p_{x,y}) = d_{ij} \cdot m_{ij} \quad (5)$$

где $i = (a-1) \cdot n + b$ и $j = (x-1) \cdot n + y$.

Так как мощность множества возможных отображений (1) равна числу всевозможных перестановок задач в матрице X , поиск наилучшего варианта размещения по критерию (2) является сложной переборной задачей. Для поиска варианта размещения целесообразен поиск ее минимальной нижней оценки T_{inf} при допущении, что топологии исходного графа G и графа связей H между модулями МС тождественны. При вычислении нижней оценки назначаем 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 , и выполняем следующие шаги [7].

- 1) выстроить в линейный векторный массив элементы матрицы расстояний по возрастанию;
- 2) выстроить в линейный векторный массив элементы матрицы смежности по убыванию;
- 3) найти сумму частных произведений одноименных компонентов полученных векторов.

В целом, поиск варианта размещения, по мнению авторов, должно соответствовать устройству, структурная схема которого представлена на рисунке 4.

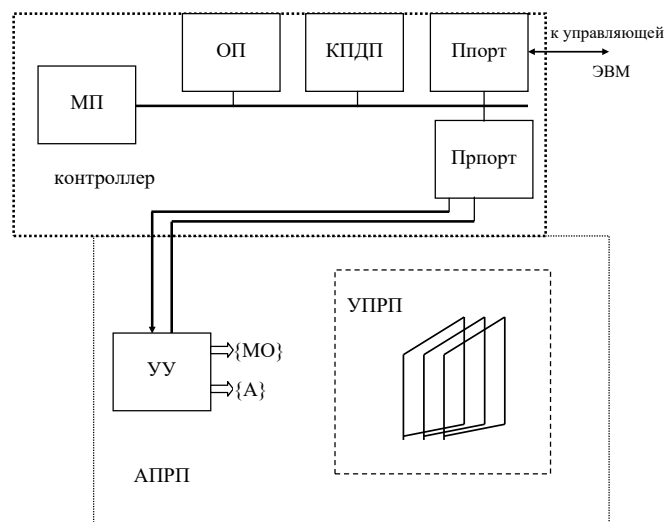


Рис.4 Структурная организация устройства планирования размещения

На рисунке 4 приняты следующие обозначения блоков и узлов: АПП – акселератор планирования перераспределения подпрограмм; ОП – оперативная память; КПДП – контроллер прямого доступа в память; Ппорт – последовательный порт; Прпорт

– параллельный порт; УУ – устройство управления; МО – микрооперации; А – адрес, УППП – устройства планирования размещения подпрограмм [8].

Заключение

В результате, применительно для МС высокой готовности было спроектированы устройства, соответствующие представленным выше этапам поиска минимальной нижней оценки. В данном случае авторы предполагают, что с помощью спроектированных УППП (см. рис. 4) первоначально вычисляется минимальная нижняя оценка, то есть значение интенсивности, к которому необходимо стремиться при реальном варианте размещения.

Список литературы: 1. Воеводин В.В., Воеводин Вл.В. Параллельные вычисления. – СПб.: БХВ–Петербург. 2002.– 608 с. 2. Корнеев В.В. Параллельные вычислительные системы. М.: Нолидж. 1999. 340 с. 3. Оре О. Теория графов. — М.: Наука, 1968. — 352 с. 4. Борзов Д.Б., Зотов И.В., Титов В.С. Устройство для формирования субоптимального размещения и его оценки. Патент РФ №2193796, заявл. 29.01.2001; опубл. 27.11.2002, БИ №33, 14 с. 2 ил. 5. Борзов Д.Б., Тиов В. С. Параллельные вычислительные системы (архитектура, принципы размещения задач) Монография. – Курс. гос. тех. ун-т. Курск, 2009. 159 с. 6. Борзов Д.Б., Тиов В. С. Вопросы проектирования и динамической реконфигурации топологии систем логического управления в системах высокой готовности. Монография. – Юго-Запад.. гос. ун-т. Курск, 2015. 282 с. 7. Морозов К.К., Одинокоев В.Г., Курейчик В.М. Автоматизированное проектирование конструкций радиоэлектронной аппаратуры: Учебное пособие для вузов. – М.: «Радио и связь», 1983. – 280 с. 8. Курейчик В.М., Глушань В.М. Щербаков Л.И. Комбинаторные аппаратные модели и алгоритмы в САПР. – М.: «Радио и связь», 1990. – 216 с.

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ АВТОМАТИЧЕСКОЙ СВАРКИ ПЛАКИРОВАННОЙ СТАЛИ

Каленская А.В. (ФГБОУ ВО «ЛГУ им. В.Даля» г. Луганск, ЛНР, Россия)
E-mail: calenskaya.anna@yandex.ru

Abstract: *The article considers technological methods for regulating the structure and properties of a welded joint during the welding process, as well as the development of an optimal resource-saving technology for automatic welding in a gas environment of clad steel 09Г2С+08Х18Н10Т and a study of the geometry of the resulting welded joint.*

Keywords: *Corrosion resistance, dissimilar metals, weld, macrocooler, intergranular corrosion.*

Совершенствование существующих и разработка новых, прогрессивных технологических процессов, а также появление новых видов техники, определяют необходимость эксплуатации оборудования в агрессивных средах, при высоких температурах и в других специфических условиях. Значительная часть такого оборудования требует изготовления из дорогостоящих высоколегированных листовых сталей. Использование коррозионно-стойких двухслойных сталей, имеющих основной слой из низколегированной стали, а плакирующий (защитный) – из коррозионно-стойкой высоколегированной стали, позволяет значительно понизить стоимость такого оборудования. В связи с этим возникает необходимость в разработке и совершенствовании оборудования и технологии для реализации сварных соединений конструкций из двухслойных сталей. Существующие способы сварки не всегда гарантируют получение качественных соединений таких сталей, научные рекомендации по выбору режимов и способов сварки носят ограниченный характер.

С целью повышения качества сварных соединений разнородных сталей феррито-перлитного и аустенитного классов возможно применение электродов с повышенным содержанием легирующих элементов, в частности никеля, компенсирующих разбавление аустенитного металла шва ферритным металлом и обладающим блокирующим действием реактивной диффузии углерода из стали менее легированной в более легированную. Данная технология сварки наиболее распространена в сварочном производстве, но она же является и наиболее дорогостоящей, с точки зрения применения никеля.

Так же возможно применение сварки с регулируемым термическим циклом. К ним относятся такие технологические способы регулирования структуры и свойств, как использование дополнительного гранулированного присадочного металла (ДГПМ), электромагнитное перемешивание (ЭМП) металла в сварочной ванне, ввод в сварочную ванну дополнительных электродов без тока, дозирование мощности, сужение сварочного зазора (УЗ), модулирование сварочного тока (МТ), принудительное и сопутствующее охлаждение (ПСО) в процессе сварки [1, 2].

Цель работы: является разработки оптимальной ресурсосберегающей технологии автоматической сварки в среде защитного газа разнородных сталей 09Г2С+08Х18Н10Т.

Основное содержание и результаты работы

Для разработки оптимальной технологии сварки переходного и плакирующего слоя стали 09Г2С+08Х18Н10Т, были проведены исследования сочетаний технологиче-

ских приемов: «сварочная проволока – низкочастотные колебания – защитный газ – внутренние стоки тепла». Макрохолодильники вводились в хвостовую часть сварочной ванны с помощью бункера-питателя, прикрепленного к сварочному автомату. Для этого вида сварки макрохолодильники представляли собой отрезки сварочной проволоки диаметром 2 мм длиной 1,5 мм. Для улучшения текучести сыпучей массы макрохолодильника на бункере-питателе смонтирован электрический эксцентриковый вибратор (рисунок 1).

Генерация поперечных колебаний сварочной проволоки (с частотой 4-5 Гц, амплитудой 2 мм) производили за счет контакта проволоки с шестигранной керамической призмой (рисунок 1).

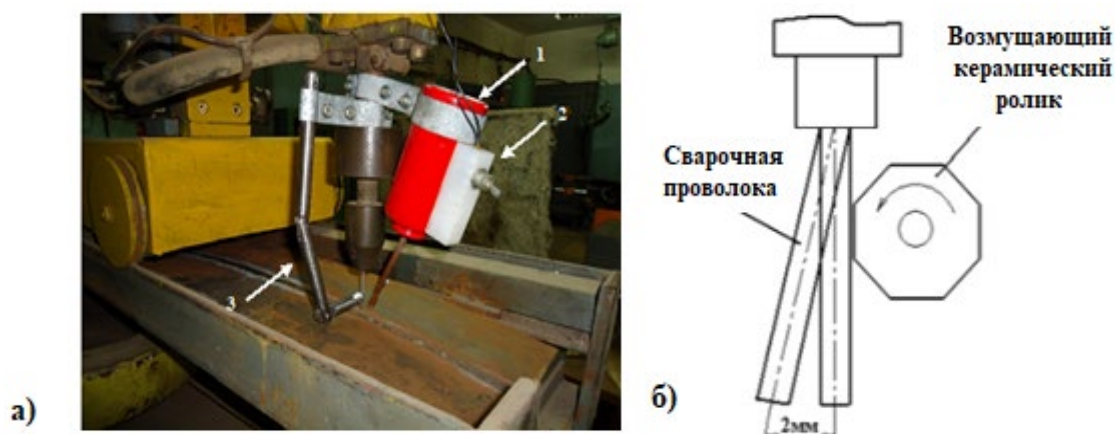


Рисунок 1 – Технология автоматической сварки в среде защитного газа (ИП) [4]:

а) установка для ИП с комплексным воздействием на жидкий металл сварочной ванны: 1 – бункер-питатель, для подачи макрохолодильников; 2 – эксцентриковый вибратор; 3 – штатив керамической призмы, для генерации поперечных колебаний сварочной проволоки; б) – схема генерации поперечных колебаний сварочной проволоки

Массовая доля металла макрохолодильников в формировании сварного шва составляет 80-90 % от наплавленной массы металла электродной проволоки.

Скорость охлаждения жидкого металла сварочной ванны увеличилась в 2,3 раза, с 19 °С/с (при обычном способе сварки) до 45 °С/с (при сварке с комплексным воздействием на жидкий металл сварочной ванны).

Режимы автоматической сварки в среде защитного газа переходного и плакирующего слоев с комплексным воздействием на жидкий металл сварочной ванны приведены в таблице 1.

При ИП в среде аргона использовался автомат АДГ-502 с источником питания ВДУ-504 сварочная проволока Св-07Х25Н12Г2Т и Св-08Х20Н9Г7Т диаметром 4 мм.

Оптимальной скоростью охлаждения сварного соединения, при сварке как переходного, так и плакирующего слоев, для всех рассмотренных видов сварки является скорость $W_{425-800}^{охл} = 60-70$ °С/с, которая достигается применением технических устройств, использующих водовоздушные охлаждающие среды [3].

Применение комплексного воздействия на металл сварочной ванны при ИП позволило на 27 %, увеличить площадь поперечного сечения сварного валика (рисунок 2), тем самым уменьшить количество наложения сварочных валиков как при сварке переходного слоя, так и при сварке плакирующего слоя (рисунок 3, а и б), без увеличения погонной энергии сварки.

Таблица 1 – Режимы автоматической сварки в среде защитного газа переходного и плакирующего слоев стали 09Г2С+08Х18Н10Т с комплексным воздействием на жидкий металл сварочной ванны

ИП + комплексное воздействие ($M_{\text{макр}} = 80-90\%$; $\omega = 4-5$ Гц, $A = 2$ мм) (постоянный ток, обратной полярности)					
Диаметр электрода в мм	Сварочный ток, А	Напряжение дуги, В	Скорость сварки см/мин	Вылет электрода мм	Расход газа л/мин
3,0	350-400	22-23	40-45	25-40	40-45
4,0	400-450	23-26	50-54	25-40	40-45

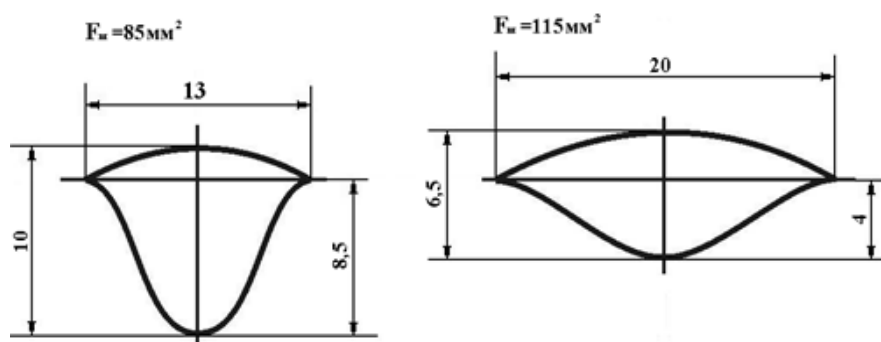


Рисунок 2 – Изменение геометрических параметров сварного валика при автоматической сварке в защитной среде аргона [4]: а – ИП обычным способом; б – ИП с комплексным воздействием на жидкий металл сварочной ванны

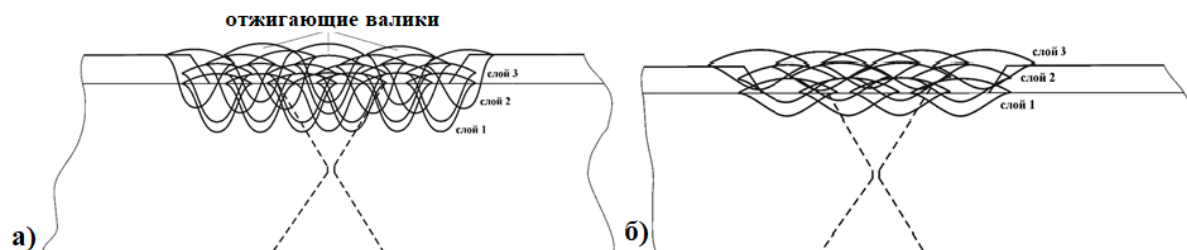


Рисунок 3 – Схема раскладки валиков сварки переходного (слой 1) и плакирующего (слой 2 и слой 3) слоев при автоматической сварке в защитной среде аргона (ИП) [4]:

а – ИП обычным способом ($n_{\text{в}} = 24$); б – ИП с комплексным воздействием на жидкий металл сварочной ванны ($n_{\text{в}} = 13$)

Однако, применение таких устройств целесообразно при сварке двухслойных сталей небольшой толщины (до 5 мм). Их использование при сварке сталей толщиной более 20 мм сталкивается с трудностями позиционирования и контакта охлаждающего устройства с металлом. Поэтому при разработке оптимального и технологически приемлемого способа сварки двухслойной стали 09Г2С+08Х18Н10Т с регулируемым термическим циклом было отдано предпочтение применению комплексного воздействия на жидкий металл сварочной ванны, основанного на внутреннем поглощении тепла макрохолодильниками и наложением низкочастотных поперечных колебаний на электрод или сварочную проволоку.

Выводы

1. Ввод в процессе сварки, разнородных сталей аустенитного+ферритоперлитного классов, в сварочную ванну макрохолодильников повышает аустенитность металла шва до 15% тем самым позволяет производить сварку экономнолегированными, по никелю, электродами.

2. При низкочастотной, $\omega=10$ Гц, $A=2$ мм, вибрации сварочной проволоки и колебаниях сварочной дуги столбчатые зерна металла шва изменяют свою ориентацию. Это происходит потому, что столбчатые зерна растут перпендикулярно фронту кристаллизации сварочной ванны, а при колебаниях дуги сварочная ванна тоже совершает колебания. Изменение ориентации столбчатых зерен резко уменьшает длину кристаллизационных трещин.

3. Применение комплексного способа при автоматической сварке в среде защитного газа позволило на 27%, увеличить площадь поперечного сечения сварного валика (с $F_{ш}=85\text{мм}^2$ до $F_{ш}=115\text{мм}^2$), тем самым уменьшить количество наложения сварочных валиков с 7 до 4, при сварке переходного слоя и с 17 до 9 при сварке плакирующего слоя, без увеличения погонной энергии сварки, что существенно влияет на качество сварного соединения. Использование макрохолодильников в сварочных материалах ИП позволило исключить использование более дорогой проволоки Св-07Х25Н12Г2Т при сварке переходного слоя с заменой их на проволоку Св-08Х20Н9Г7Т, обеспечивая аустенитно-ферритную структуру сварных валиков.

Список литературы: 1. Сварка и свариваемые материалы: В 3-х т. Справ. Изд. / Под ред. Э.Л. Макарова – М.: Металлургия, 1991, - 528 с. 2. Сварка в машиностроении: Справочник. В 4-х т. / Редкол.: Г. А. Николаев (пред.) и др.- М.: Машиностроение, 1979-т. 3 / Под ред. В. А. Винокурова. 1979. - 567 с. 3. Костин, П.П. Физико-механические испытания металлов, сплавов и неметаллических материалов / П.П. Костин. – М.: Машиностроение, 1990. – 256 с. 4. Гальцов, И.А. Сварка плакированной стали: монография / И.А. Гальцов, А.В. Каленская. – Северодвинск: САФУ им. М.В. Ломоносова. – Тамбов: Консалтинговая компания Юком, 2021. – 164 с.

УЗЛЫ УПРАВЛЕНИЯ РЕЖИМАМИ РАБОТЫ ГИДРОУДАРНЫХ СНАРЯДОВ ДЛЯ БУРЕНИЯ ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНЫХ СКВАЖИН НА ШЕЛЬФЕ

Каракозов А.А. (Донецкий национальный технический университет, г. Донецк, ДНР,
Россия)

E-mail: karakozov@donntu.ru

Abstract: *The results of the development and improvement of technical tools and technology for drilling exploration and geotechnical wells are presented.*

Keywords: *shelf, engineering and geological surveys, drilling, hydraulic hammer, exploration and geotechnical wells, sampling.*

Разведка, разработка и освоение шельфовых месторождений полезных ископаемых (как твёрдых, так и углеводородных) невозможна без выполнения больших объёмов бурения геологоразведочных скважин в породах песчано-глинистого комплекса с отбором проб грунтов.

Для решения этой задачи в Донецком национальном техническом университете (ДонНТУ) были разработаны установки серии УМБ, которые хорошо зарекомендовали себя при бурении на шельфе скважин глубиной до 50 м. В составе установок использовался ряд конструкций гидроударных снарядов, выполненных по схеме, в состав которой входят гидроударник, насосный блок (опционально), колонковый набор и два распределительных узла, установленных выше и ниже гидроударника [1–5]. Распределительные узлы управления режимами работы гидроударного снаряда обеспечивают возможность чередования режима бескернового бурения и режима отбора керна.

При бескерновом бурении жидкость подаётся в керноприёмную трубу и на забой скважины, разрушая породу. Жидкость может подаваться как в обход гидроударника, так и в него (постоянно или периодически). В первом случае гидроударник отключен, порода на забое разрушается за счёт действия жидкости и дополнительных ударов, периодически наносимых по забюю весом снаряда («клюющий» способ). Во втором случае устройство генерирует удары по колонковому набору, которые используются для интенсификации разрушения забоя (этот способ может использоваться как самостоятельно, так и совместно с «клюющим» способом).

При бурении с отбором керна жидкость подаётся в гидроударник, а из него – в скважину. При этом выход жидкости в скважину может производиться непосредственно над башмаком колонкового набора, обеспечивая размыв её стенок, что способствует снижению сил сопротивления при бурении и при извлечении оборудования из скважины. В этом режиме распределительный узел может обеспечивать деление потока жидкости, подаваемой в гидроударный снаряд: одна часть подаётся в гидроударник, а вторая – выходит в скважину над снарядом, обеспечивая ту же интенсивность потока в кольцевом пространстве, что и при бескерновом бурении.

Опыт эксплуатации установок в производственных условиях показал, что необходимо продолжить работы по созданию более эффективных конструкций распределительных узлов гидроударных снарядов, что позволит снизить затраты времени на проведение вспомогательных операций при их эксплуатации и обеспечить более надежное управление при переключении режимов их работы.

Морфологическая карта модификаций распределительных узлов гидроударных снарядов, использовавшихся в установках серии УМБ, приведена в табл. 1.

При проведении работ особое внимание уделялось созданию автоматических распределительных узлов, не требующих дополнительных операций по их

обслуживанию после поднятия снаряда на борт судна, которые всегда использовались в нижнем распределительном узле, а в ряде случаев – и в верхнем.

Таблица 1 – Морфологическая карта распределительных узлов гидроударных снарядов

Классификационный признак	Варианты выполнения распределительных узлов				
Количество распределительных элементов (РЭ)	Один		Два		Три
Размещение РЭ в узле	Стационарное			Доставляется потоком жидкости	
Фиксация РЭ в исходном положении (ИП)	Одной пружиной		Несколькими пружинами		Срезным штифтом
Управление узлом	Гидравлическое при постоянной подаче		Гидравлическое при изменении подачи		Механическое
Возврат РЭ в исходное положение	Автоматический			Ручной	
Деление потока жидкости	Нет		После переключения		Постоянное
Вид РЭ	Клапан (шар, тарелка)	Поршень с каналом	Полый шток	Кольцевой поршень	Кольцевой поршень с тарелкой
Каналы в кольцевом поршне	Нет		Радиальные		Осевые и радиальные
Тарелка на кольцевом поршне	Нет	Одна (в нижней части)		Одна (в верхней части) Две	
Ударное взаимодействие между РЭ при их возврате в ИП	Есть			Нет	

На практике из автоматических узлов предпочтение было отдано двухэлементному узлу с одной пружиной [6, 7] как более надёжному с точки зрения переключения в исходное положение за счёт ударного взаимодействия его элементов.

Однако эта конструкция имеет существенный недостаток – она характеризуется сильной зависимостью ударного взаимодействия от величины отрицательного перекрытия пропускных окон штока [6]. Это, в свою очередь, определяет переменное давление перед тарелкой распределительного элемента при срабатывании на малых расходах и значительный рост давления после переключения, что затрудняет настройку оборудования при использовании гидроударников и насосов с различными характеристиками.

С точки зрения простоты настройки более предпочтительными являются одноэлементные узлы, которые могут заменить применяемые двухэлементные распределительные устройства. Для сравнения эффективности работы разновидностей одноэлементных распределительных устройств было проведено моделирование течения жидкости методом конечных элементов на различных фазах работы. Это позволило определить рациональную конструкцию и параметры одноэлементных распределительных устройств.

Примеры моделирования трёх конструктивных схем распределительных устройств показаны на рис. 1–3.

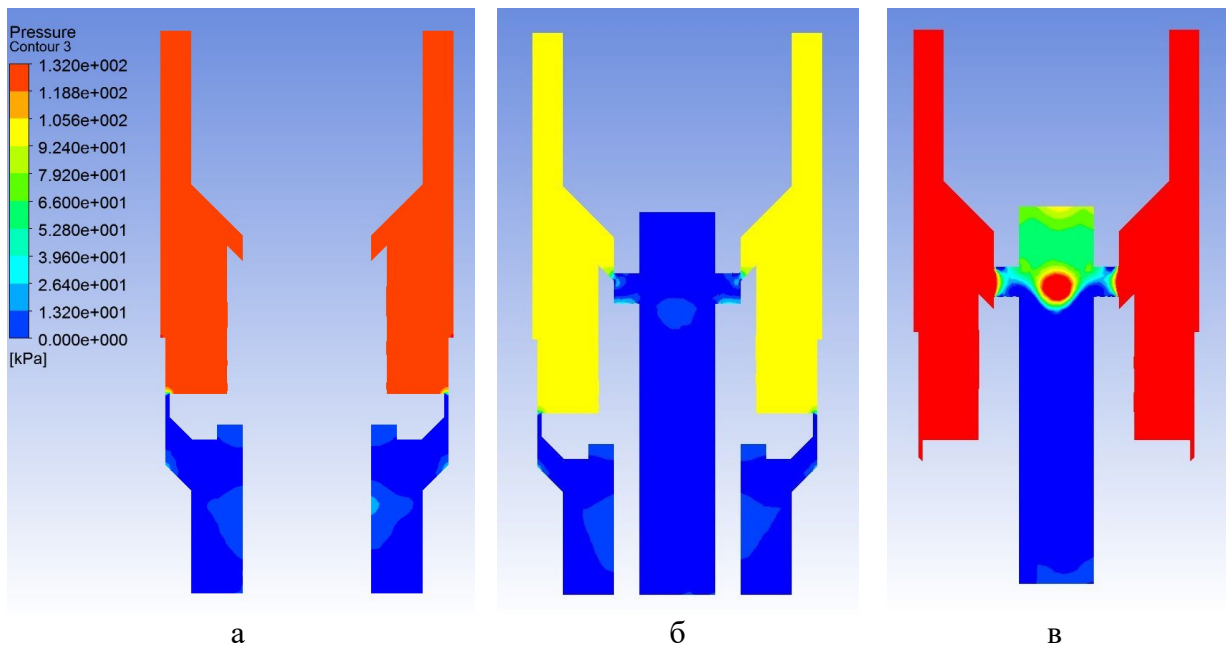


Рисунок 1 – Пример моделирования одноэлементного распределительного узла с тарелкой в нижней части кольцевого поршня: а – исходное положение; б – момент открытия перепускных окон; в – нижнее положение.

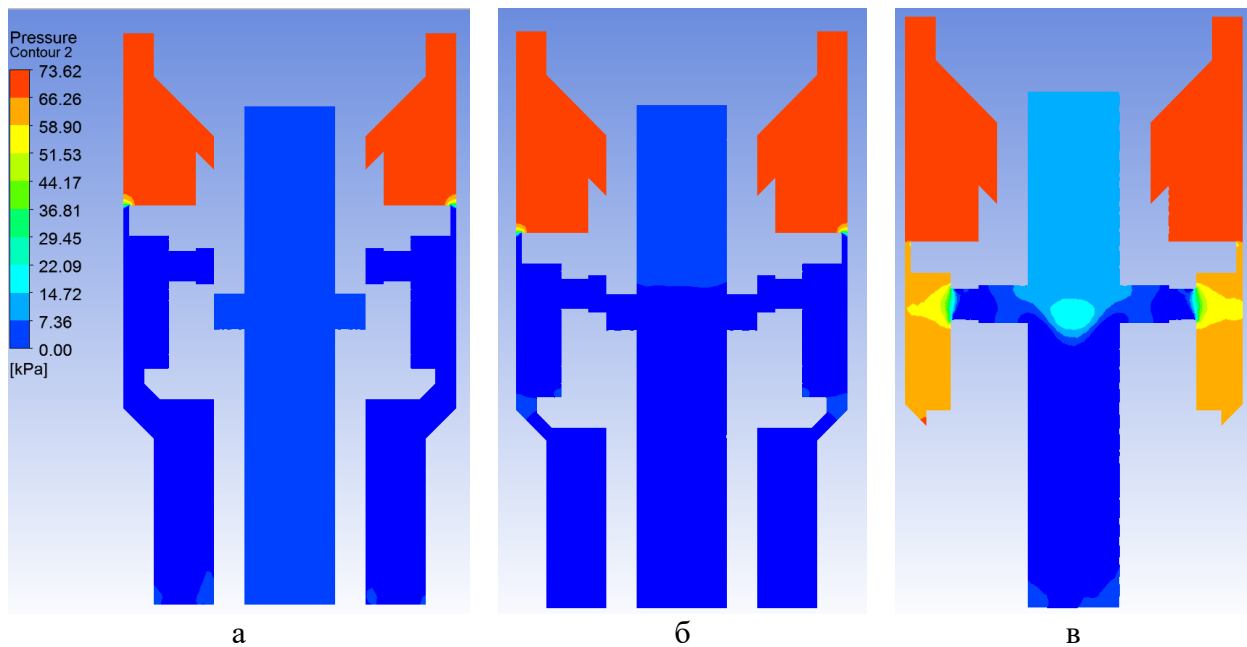


Рисунок 2 – Пример моделирования одноэлементного распределительного узла с двумя тарелками (разных диаметров) на кольцевом поршне: а – исходное положение; б – момент открытия перепускных окон; в – нижнее положение.

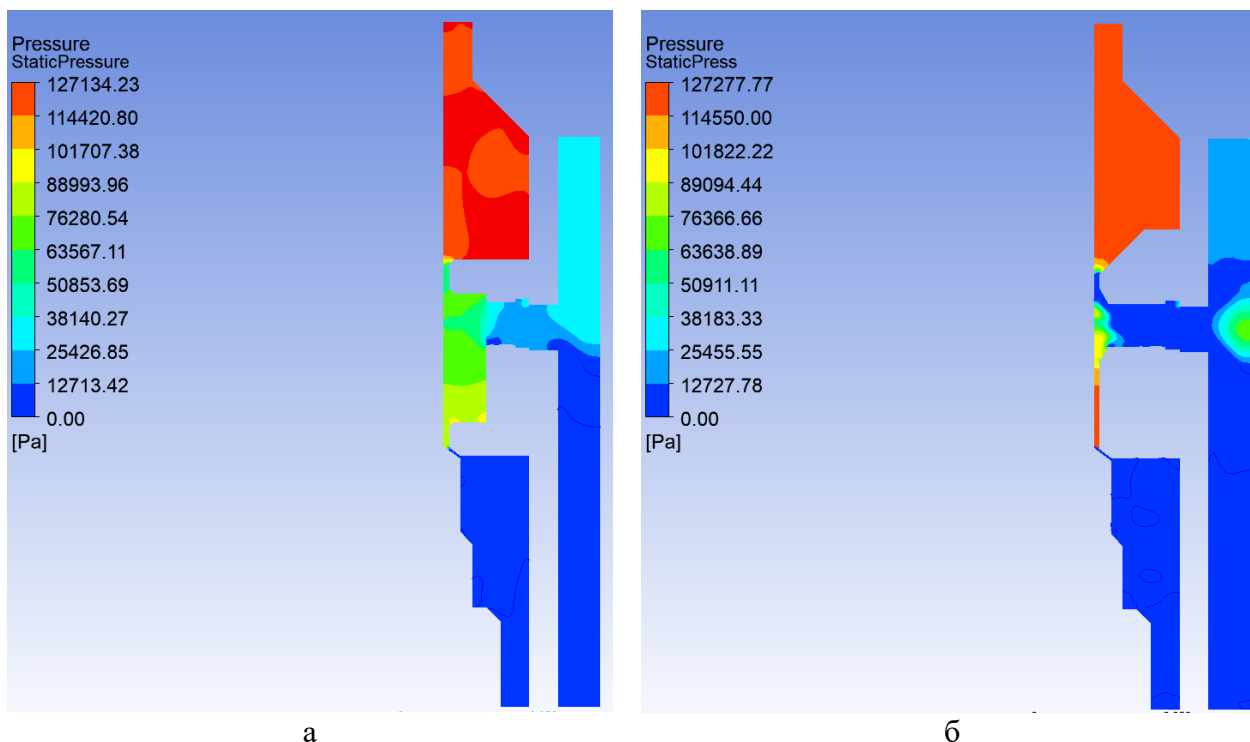


Рисунок 3 – Пример моделирования одноэлементного распределительного узла (нижнее положение распределительного элемента): а – кольцевой поршень с двумя тарелками одного диаметра; б – кольцевой поршень.

Результаты моделирования, подтверждённые лабораторными испытаниями, показали, что все исследованные схемы одноэлементных распределительных узлов обеспечивают их надёжное срабатывание. Это позволяет рекомендовать их к использованию вместо двухэлементных узлов. Однако с точки зрения обеспечения возможности постоянного давления на входе в узел при переключении, что значительно облегчает его настройку в различных условиях эксплуатации, преимущество имеет распределительный элемент с двумя тарелками на кольцевом поршне (рис. 2, рис. 3а). Эта конструкция обеспечивает надёжное срабатывание узла при повышении и снижении расхода жидкости, что позволяет рекомендовать её для замены двухэлементных узлов в практических разработках.

Полученные результаты использовались при модернизации гидроударных снарядов установок серии УМБ, в том числе УМБ-130, УМБ-130М и УМБ-130/150.

Список литературы: 1. Калиниченко О.И. Гидроударные буровые снаряды и установки для бурения скважин на шельфе / О.И. Калиниченко, П.В. Зыбинский, А.А. Каракозов. – Донецк: «Вебер», 2007. – 270 с. 2. Гидроударный буровой снаряд: Патент № 2278238 РФ, E21B25/18 / О.И. Калиниченко, А.А. Каракозов, П.В. Зыбинский. – Оpubл. 20.06.2006, бюл. №17. 3. Погружная гидроударная установка: Патент № 78588 UA E21B25/00 / А.А. Каракозов, О.И. Калиниченко, П.В. Зыбинский. – Оpubл. 10.04.2007, бюл. №4. 4. Колонковый снаряд: Патент №105101 UA E21B 21/00 25/00 / А.А. Каракозов, А.Н. Рязанов, П.В. Зыбинский, С.Н. Парфенюк. – Оpubл. 10.04.2014, Бюл. №7. 5. Пробоотборник: Патент №110065 UA E21B 25/18 49/02 / А.А. Каракозов, А.Н. Рязанов, П.В. Зыбинский, С.Н. Парфенюк. – Оpubл. 10.11.2015, Бюл. №21. 6. Калиниченко, О.И. Установки для бесколонного бурения скважин на морских акваториях / О.И. Калиниченко, А.В. Хохуля, П.В. Зыбинский, А.А. Каракозов. – Донецк: Донбасс, 2013. – 163 с. 7. Гидроударный буровой снаряд : Патент на полезную модель №77466 UA E21B 25/00, E21B 4/00 / О.И. Калиниченко, А.В. Хохуля, А.А. Каракозов. – Оpubл. 11.02.2013, бюл. №3.

ТРЕХЧАСТОТНЫЙ МЕТОД УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ДЕФЕКТОМЕТРИИ

Киреев А.Н., Киреева М.А. (ФГБОУ ВО «ЛГУ им. В.Даля», г. Луганск, Россия)
Тел. +79591367002; E-mail: lifter_23@mail.ru

Abstract: The work is devoted to topical issues of increasing the reliability and informativeness of the results of manual ultrasonic inspection of parts and assemblies of technical objects. The paper presents a three-frequency method of ultrasonic flaw detection, which makes it possible to increase the reliability of the non-etalon method for determining the type of discontinuity detected as a result of ultrasonic testing. The developed method makes it possible to determine the type of discontinuities of various types. The NDTRT-26 software product has been developed to automate calculations using the three-frequency method.

Keywords: Diagnostics, non-destructive testing, ultrasonic testing, echo pulse method, flaw detection, piezoelectric transducer, discontinuity, equivalent size.

Эксплуатация различных технических средств сопровождается высокими затратами на поддержание их работоспособного состояния в течение всего срока эксплуатации. Для повышения эффективности использования технического средства разработаны методы и средства диагностирования, которые применяют как при проведении технического обслуживания и ремонтов, так и в качестве самостоятельного технологического процесса. Диагностирование позволяет повысить коэффициент готовности и вероятность безотказной работы технического средства, снизить трудоемкость и стоимость эксплуатации, повысить ремонтпригодность и контролепригодность технического средства [1]. В комплекс мероприятий тестового диагностирования входят операции ультразвукового неразрушающего контроля [2 – 4] деталей и узлов технических средств на отсутствие внутренних недопустимых несплошностей (рис. 1). Наибольшее распространение среди других методов ультразвукового контроля получил ультразвуковой эхоимпульсный метод [5].



Рис. 1. Ультразвуковой контроль на отсутствие внутренних недопустимых несплошностей:

При ультразвуковом контроле деталей и узлов технических объектов эхоимпульсным методом классификация несплошностей, обнаруженных в процессе контроля, осуществляется путем сравнения амплитуды эхо-сигнала от несплошности с амплитудой эхо-сигнала от эталонного отражателя в стандартном образце предприятия, либо по диаграммам амплитуда-расстояние-диаметр, либо при использовании метода безэталонной настройки функции временной регулировки чувствительности [6 – 8].

Однако при диагностировании деталей и узлов технических объектов иногда необходимо знать различные параметры обнаруженных несплошностей: тип несплошности (объемная, плоскостная), ориентация несплошности в объеме изделия, эквивалентный размер несплошности. Для определения параметров обнаруженных в процессе ультразвукового контроля несплошностей разрабатываются методы и средства ультразвуковой дефектометрии [8 – 10]. В работах [8, 11, 12] представлен метод безэталонного определения эквивалентного размера несплошности при ультразвуковом контроле.

Поставлена задача повышения достоверности безэталонного метода определения эквивалентного размера несплошности при ультразвуковом контроле.

Сущность безэталонного метода определения эквивалентного размера несплошности заключается в следующем:

- 1) в объекте контроля при обнаружении эхо-сигнала от несплошности измеряются следующие характеристики: амплитуда донного сигнала; расстояние от поверхности ввода ультразвуковой волны до донной поверхности; амплитуда эхо-сигнала от несплошности; расстояние от поверхности ввода ультразвуковой волны до несплошности.
- 2) далее воспользовавшись аналитическими зависимостями (табл. 1) определяется эквивалентный размер соответствующего типа несплошности (тип несплошности определяется при помощи двухчастотного метода ультразвуковой дефектометрии [8, 9]).

1. Аналитические зависимости для безэталонного определения эквивалентных размеров несплошностей

Тип несплошности	Аналитическая зависимость
точечная плоскостная	$d_{\text{т.пл.}} = \frac{2\lambda x 10^{N/40}}{Z^{x/(2x_d)} \sqrt{S_a \pi}}$
точечная объемная	$d_{\text{т.об.}} = \frac{4\lambda x^2 10^{N/20}}{S_a Z^{x/x_d} - 2\lambda x 10^{N/20}}$
протяженная плоскостная	$L_{\text{пр.пл.}} = \frac{10^{N/20} \sqrt{2(\lambda x)^3}}{S_a Z^{x/x_d}}$
протяженная объемная	$d_{\text{пр.об.}} = \frac{8\lambda^2 x^4 10^{N/10}}{S_a^2 Z^{2x/x_d} - 4\lambda^2 x^2 10^{N/10}}$

В таблице 1 приняты следующие сокращения:

$$Z = \frac{2\lambda x_d 10^{N_d/20}}{S_a},$$

λ – длина ультразвуковой волны, мм; x – расстояние от поверхности ввода ультразвуковой волны до несплошности, мм; x_d – расстояние от поверхности ввода ультразвуковой волны до донной поверхности, мм; S_a – площадь пьезоэлектрической пластины, мм²; N – амплитуда эхо-сигнала от несплошности, дБ; N_d – амплитуда донного сигнала, дБ.

Для решения поставленной в работе задачи был разработан метод определения эквивалентного размера несплошности путем измерения амплитудной характеристики эхо-сигналов от несплошности на частотах ультразвуковой волны 2,5, 5,0 и 10,0 МГц и вычисления математического ожидания эквивалентного размера несплошности.

Для решения поставленной в работе задачи был разработан метод определения эквивалентного размера несплошности путем измерения амплитудной характеристики эхо-сигналов от несплошности на частотах ультразвуковой волны 2,5, 5,0 и 10,0 МГц и вычисления математического ожидания эквивалентного размера несплошности.

Аналитическая зависимость для расчета математического ожидания эквивалентного диаметра точечной плоскостной несплошности имеет вид:

$$M(d_{\text{т.пл}}) = \frac{d_{\text{т.пл}2,5} + d_{\text{т.пл}5,0} + d_{\text{т.пл}10,0}}{3} = \frac{2\lambda_{2,5} x 10^{N_{2,5}/40}}{3Z_1^{x/(2x_d)} \sqrt{S_{a2,5} \pi}} +$$

$$+ \frac{2\lambda_{5,0} x 10^{N_{5,0}/40}}{3Z_2^{x/(2x_d)} \sqrt{S_{a5,0} \pi}} + \frac{2\lambda_{10,0} x 10^{N_{10,0}/40}}{3Z_3^{x/(2x_d)} \sqrt{S_{a10,0} \pi}}. \quad (1)$$

где: $Z_1 = \frac{2\lambda_{2,5} x_d 10^{N_{д2,5}/20}}{S_{a2,5}}$, $Z_2 = \frac{2\lambda_{5,0} x_d 10^{N_{д5,0}/20}}{S_{a5,0}}$, $Z_3 = \frac{2\lambda_{10,0} x_d 10^{N_{д10,0}/20}}{S_{a10,0}}$,

$\lambda_{2,5}$, $\lambda_{5,0}$, $\lambda_{10,0}$ – длины ультразвуковой волны на частотах 2,5, 5,0 и 10,0 МГц соответственно, мм; $N_{д2,5}$, $N_{д5,0}$, $N_{д10,0}$ – амплитуды донных сигналов на частотах ультразвуковой волны 2,5, 5,0 и 10,0 МГц соответственно, дБ; $N_{2,5}$, $N_{5,0}$, $N_{10,0}$ – амплитуды эхосигналов от несплошности на частотах ультразвуковой волны 2,5, 5,0 и 10,0 МГц соответственно, дБ; $S_{a2,5}$, $S_{a5,0}$, $S_{a10,0}$, – площади пьезоэлектрических пластин преобразователей работающих на частотах ультразвуковой волны 2,5, 5,0 и 10,0 МГц соответственно, мм².

Аналитическая зависимость для расчета математического ожидания эквивалентного диаметра точечной объемной несплошности имеет вид:

$$M(d_{\text{т.об.}}) = \frac{d_{\text{т.об.}2,5} + d_{\text{т.об.}5,0} + d_{\text{т.об.}10,0}}{3} = \frac{4\lambda_{2,5} x^2 10^{N_{2,5}/20}}{3S_{a2,5} Z_1^{x/x_d} - 6\lambda_{2,5} x 10^{N_{2,5}/20}} +$$

$$+ \frac{4\lambda_{5,0} x^2 10^{N_{5,0}/20}}{3S_{a5,0} Z_2^{x/x_d} - 6\lambda_{5,0} x 10^{N_{5,0}/20}} + \frac{4\lambda_{10,0} x^2 10^{N_{10,0}/20}}{3S_{a10,0} Z_3^{x/x_d} - 6\lambda_{10,0} x 10^{N_{10,0}/20}}. \quad (2)$$

Аналитическая зависимость для расчета математического ожидания эквивалентного диаметра протяженной плоскостной несплошности имеет вид:

$$M(L_{\text{пр.пл.}}) = \frac{L_{\text{пр.пл.}2,5} + L_{\text{пр.пл.}5,0} + L_{\text{пр.пл.}10,0}}{3} = \frac{10^{N_{2,5}/20} \sqrt{2(\lambda_{2,5} x)^3}}{3S_{a2,5} Z_1^{x/x_d}} +$$

$$+ \frac{10^{N_{5,0}/20} \sqrt{2(\lambda_{5,0} x)^3}}{3S_{a5,0} Z_2^{x/x_d}} + \frac{10^{N_{10,0}/20} \sqrt{2(\lambda_{10,0} x)^3}}{3S_{a10,0} Z_3^{x/x_d}}. \quad (3)$$

Аналитическая зависимость для расчета математического ожидания эквивалентного диаметра протяженной объемной несплошности имеет вид:

$$M(d_{\text{пр.об.}}) = \frac{d_{\text{пр.об.}2,5} + d_{\text{пр.об.}5,0} + d_{\text{пр.об.}10,0}}{3} = \frac{8\lambda_{2,5}^2 x^4 10^{N_{2,5}/10}}{3S_{a2,5}^2 Z_1^{2x/x_d} - 12\lambda_{2,5}^2 x^2 10^{N_{2,5}/10}} +$$

$$\frac{8\lambda_{5,0}^2 x^4 10^{N_{5,0}/10}}{3S_{a5,0}^2 Z_1^{2x/x_d} - 12\lambda_{5,0}^2 x^2 10^{N_{5,0}/10}} + \frac{8\lambda_{10,0}^2 x^4 10^{N_{10,0}/10}}{3S_{a10,0}^2 Z_1^{2x/x_d} - 12\lambda_{10,0}^2 x^2 10^{N_{10,0}/10}}. \quad (4)$$

Сущность трехчастотного метода определения эквивалентного размера несплошности при ультразвуковом контроле заключается в следующем:

1) При обнаружении в объекте контроля несплошности определенного типа (тип несплошности определяется двухчастотным методом ультразвуковой дефектотрии), в

нем измеряются следующие характеристики: амплитуды донных сигналов на частотах ультразвуковой волны 2,5, 5,0 и 10,0 МГц; амплитуды эхо-сигналов от несплошности на частотах ультразвуковой волны 2,5, 5,0, 10,0 МГц; расстояние до донной поверхности; расстояние до несплошности.

2) Далее воспользовавшись аналитическими зависимостями (1 – 4) определяется эквивалентный размер соответствующего типа несплошности. Эквивалентный размер протяженных несплошностей определяется в точке измерения амплитуд (эквивалентный размер протяженных несплошностей в разных местах может быть разным).

Для автоматизации расчетов разработан программный продукт NDTRT-26.

Работа с программным продуктом осуществляется следующим образом:

1) в ячейки ввода вводятся: параметры объекта контроля; параметры пьезоэлектрического преобразователя; параметры обнаруженной несплошности (в соответствующей ячейке устанавливается 1 напротив соответствующего типа несплошности).

2) в ячейке вывода данных выводится эквивалентный размер соответствующего типа несплошности, определенный трехчастотным методом.

Окно программного продукта NDTRT-26 при определении типа точечной объемной несплошности представлено на рис. 2.

NDTRT-26

Трехчастотный метод определения типа несплошностей при ультразвуковом контроле эхоимпульсным методом деталей и узлов технических объектов

Параметры объекта контроля	
Расстояние до донной поверхности, мм	210
Амплитуда донного сигнала на частоте 2,5 МГц, дБ	-28,6
Амплитуда донного сигнала на частоте 5,0 МГц, дБ	-43,5
Амплитуда донного сигнала на частоте 10,0 МГц, дБ	-67,5
Скорость ультразвуковой волны, мм/с	5850000
Длина ультразвуковой волны (2,5 МГц)	2,34
Длина ультразвуковой волны (5,0 МГц)	1,17
Длина ультразвуковой волны (10,0 МГц)	0,585

Параметры пьезоэлектрического преобразователя	
Площадь пьезоэлектрического элемента (2,5 МГц), мм²	113,097
Площадь пьезоэлектрического элемента (5,0 МГц), мм²	28,274
Площадь пьезоэлектрического элемента (10,0 МГц), мм²	28,274

Параметры обнаруженных несплошностей	
Расстояние до несплошности, мм	58,4
Амплитуда эхо-сигнала (2,5 МГц), дБ	-30
Амплитуда эхо-сигнала (5,0 МГц), дБ	-38,5
Амплитуда эхо-сигнала (10,0 МГц), дБ	-41
Тип несплошности (1 - да; 2 - нет)	
Точечная плоскостная	0
Точечная объемная	1
Протяженная плоскостная	0
Протяженная объемная	0

Результаты определения эквивалентного размера	
Эквивалентный диаметр точечной плоскостной несплошности, мм	0,00
Эквивалентный диаметр точечной объемной несплошности, мм	13,52
Эквивалентный размер протяженной плоскостной несплошности, мм	0,00
Эквивалентный диаметр протяженной объемной несплошности, мм	0,00

Разработчик: доктор технических наук, профессор
Киреев Андрей Николаевич
e-mail: lifter_23@mail.ru

Рис. 2. Окно программного продукта NDTRT-26.

Заключение.

Для определения эквивалентного размера несплошности обнаруженной при ручном ультразвуковом контроле эхоимпульсным методом целесообразно применение безэталонного метода. В статье разработан трехчастотный метод определения эквивалентного размера несплошности, позволяющий повысить достоверность определения эквивалентного размера несплошности безэталонным методом. Для автоматизации расчетов трехчастотного метода определения эквивалентного размера несплошности разработан программный продукт NDTRT-26.

Список литературы: 1. Киреев А.Н. Техническая диагностика промышленной продукции: Учебник / А.Н. Киреев. – Луганск: Изд-во ЛГУ им. В. Даля, 2022. – 159 с. 2. Сударикова Е.В. Неразрушающий контроль в производстве: Учебное пособие. Ч.1 / Е.В. Сударикова. – СПб.: ГУАП, 2007. – 137с. 3. Неразрушающий контроль и диагностика: Справочник. Изд. 2-е испр. и доп. / Под ред. В.В. Клюева. – М.: Машинострое-

ние, 2003. – 656с. 4. Алешин Н.П. Ультразвуковой контроль: Учебное пособие / [Н.П. Алешин, В.Т. Бобров, Ю.В. Ланге и др] под общ. ред. В.В. Клюева. – М.: Издательский дом «Спектр», 2011. – 224с. 5. Ермолов, И.Н. Физические основы эхо и теневого метода ультразвуковой дефектоскопии / И.Н. Ермолов. – М.: Машиностроение, 1970. – 108с. 6. Киреев А.Н. Настройка функции ВРЧ ультразвуковой аппаратуры при диагностировании элементов экипажной части подвижного состава железных дорог / А.Н. Киреев // Вестник Уральского государственного университета путей сообщения. – Екатеринбург: 2016. – №1 (29) – С. 23-29. 7. Киреев А.Н. Экспериментальные исследования безэталонных методов отстройки функции ВРЧ при ультразвуковом контроле деталей ПСЖД / А.Н. Киреев, В.А. Витренко // Вестник Уральского государственного университета путей сообщения. – Екатеринбург: 2017. – №4 (36) – С. 56-66. 8. Киреев А.Н. Дефектометрия при ультразвуковом диагностировании элементов и систем подвижного состава железных дорог: Монография / А.Н. Киреев. – Луганск: Изд-во «Ноулидж», 2016. – 147с. 9. Киреев А.Н. Двухчастотный метод ультразвуковой дефектометрии: Монография / А.Н. Киреев, В.В. Быкадоров, М.А. Киреева. – Донецк (РФ): ООО «НПФ «Фолиант», 2021. – 107с. 10. Киреев А.Н. Анализ погрешности определения эквивалентного размера и ориентации плоскостного дефекта при ручном ультразвуковом контроле / А.Н. Киреев, М.А. Киреева // Контроль. Диагностика. – М.: 2022. – Том 25 – №6 – С. 60-64. 11. Киреев А.Н. Метод определения эквивалентного размера несплошности при ультразвуковом диагностировании элементов и систем подвижного состава железных дорог / А.Н. Киреев // Вестник Ростовского Государственного университета путей сообщения. – Ростов на Дону, 2015. – №4 (60) – С. 14-21. 12. Киреев А.Н. Анализ погрешности определения эквивалентного размера дефекта безэталонным методом при ультразвуковом контроле / А.Н. Киреев, М.А. Киреева // Контроль. Диагностика. – М.: 2021. – Том 24 – №4 – С. 50-57.

ИНЖЕНЕРНАЯ ОЦЕНКА ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ АРТЕРИАЛЬНОГО ДАВЛЕНИЯ И ТРЕХ ВИДОВ ВОЗДЕЙСТВИЯ БИОРИТМОВ

Коваленко В.И. (ДонНТУ, г. Донецк)

Тел./Факс: +38 (062) 3050104; E-mail: tm@mech.dgtu.donetsk.ua

Abstract: *In the work, from an engineering point of view, the interaction of blood pressure (systolic and diastolic) and biorhythms of three types of exposure is considered: triple, double and single. A period of one year is considered. The initial data are the experimental values of blood pressure and periods of exposure to biorhythms. With the help of methods of mathematical statistics, the change in the periods of various types of impact is analyzed. A stochastic relationship has been established between blood pressure values and biorhythms.*

Key words: *mathematical statistics, blood pressure, biorhythms.*

1. Введение

Автором получены многочисленные экспериментальные данные по измерению артериального (систолического dv и диастолического dn) давления. Для анализа выбран 70-й год автора. За это время было выполнено 1625 пар измерений артериального давления автоматическим тонометром мод. UA-668 фирмы AND; выполнены предусмотренные инструкцией правила пользования тонометром.

Полученные данные были систематизированы и проанализированы с инженерной (математической) точки зрения: с использованием методов теории вероятностей и математической статистики (корреляционный и регрессионный анализы) [1-3] и с учетом биоритмов, относящихся к автору [4]. В качестве инструмента анализа принята величина достоверности аппроксимации R^2 .

При анализе данных, наряду с другими, использован аппарат программного продукта Excel [5]. В работе [6] намечен план анализа взаимодействия артериального давления и биоритмов тройного вида воздействия; в работе [7] проведено более полное изучение этого вопроса.

В настоящей работе продолжено и расширено изучение упомянутой тематики: анализируется взаимодействие артериального давления и биоритмов не только тройного, но также двойного и единичного вида воздействия.

2. Основное содержание и результаты работы

Различают периоды биоритмов: 23 суток – период физической активности; 28 суток – период эмоциональной активности; 33 суток – период интеллектуальной активности. Принимаем годовой цикл, равный 365 дней. Исходная дата расчета - 20.09.2008 (применительно к 70-му году жизни автора, дню его рождения).

Предполагаем, что возможна взаимосвязь параметров активности человека, например, артериального давления, с его биоритмами. Известно, что биоритмы представляют собой синусоиды, то есть имеют возрастающую и убывающую фазы. Необходимо найти периоды, когда биоритмы различного вида проявляются одновременно в каждой из указанных фаз. При этом возможно одновременное воздействие биоритмов, находящихся в состоянии различного вида активности: тройное (физическо-эмоционально-интеллектуальное), двойное трех видов (физическо-эмоциональное, физическо-интеллектуальное, эмоционально-интеллектуальное) и единичное воздействие биоритмов (находящихся в состоянии физической, эмоциональной или интеллектуальной активности).

2.1 Артериальное давление и биоритмы тройного воздействия

Для всего года в целом (365 дней) установлены периоды тройного воздействия биоритмов, находящихся в возрастающей и в убывающей фазах; значения периодов приведены в табл. 1.

Таблица 1. Периоды тройного воздействия биоритмов

Месяц	70.01	70.02	70.03	70.04	70.05	70.06	70.07	70.08	70.09	70.10	70.11	70.12	Σ
m-i	1 30	31-61	62-91	92-122	123-153	154-181	182-212	213-242	243-273	274-303	304-334	335-365	
Возрастающая фаза биоритмов													
№№ суток	3,4,5	48-51,5	76-81	104, 116-117	139-145	168-173		216-216,5		277-282,5; 300-303	304-311, 333-334		
p	3	4,5	6	3	7	6	0	1,5	0	10,5	10	0	51,5
Убывающая фаза биоритмов													
№№ суток	19		62-68, 90- 91	92-92,5	128-131, 151-153	154-159	184-184,5	230-230,5	266	289-299	316-322,5		
n	1	0	9	1,5	7	6	1,5	1,5	1	11	7,5	0	47

Сравним между собой значения достоверности R^2 аппроксимации, полученные для разных видов артериального давления и для различных фаз биоритмов: табл. 2 и табл. 3.

Таблица 2. Достоверность R^2 аппроксимации по видам давления и за год в целом

Давление		Систолическое		Диастолическое	
		Линия	Полином	Линия	Полином
Фаза биоритмов	возрастающая	0,2932	0,5180	0,4032	0,4033
	убывающая	0,3822	0,5983	0,2037	0,2484
Среднее арифме- тическое	по видам аппроксимации	0,3377	0,5582	0,3035	0,3259
	по видам давления	0,4480		0,3147	
	общее за год	0,3814			

Таблица 3. Достоверность R^2 аппроксимации в зависимости от фазы биоритмов и за год в целом

Давление			Систолическое		Диастолическое		
			Линия	Полином	Линия	Полином	
Фаза биоритмов	возрастающая	среднее арифме- тическое	по видам аппроксимации	0,2932	0,5180	0,4032	0,4033
			по видам давления	0,4056		0,4033	
			общее за год	0,4045			
	убывающая	среднее арифме- тическое	по видам аппроксимации	0,3822	0,5983	0,2037	0,2484
			по видам давления	0,4903		0,2261	
			общее за год	0,3582			
Общее по фазам биоритмов			0,3814				

Общее значение аппроксимации по году в целом составляет (см. табл. 3) то же значение ($R^2 = 0,3814$), какое было определено выше (см. табл. 2).

Получены следующие результаты исследований взаимодействия биоритмов тройного воздействия и артериального давления.

1). Общее значение аппроксимации по году в целом составляет $R^2 = 0,3814$. Это же значение является результирующим для взаимодействия биоритмов тройного воздействия и артериального давления; обозначим это как $D_t = 0,3814$ (от слова «тройной» - «triple», англ.).

Полученный результат находится в диапазоне «св. 0,3 – до 0,5 включительно» и по шкале Чеддока [3] соответствует слабому уровню аппроксимации; это – значащая достоверность аппроксимации, то есть, достоверность, подтвержденная с точки зрения теории вероятностей и математической статистики.

2) Биоактивность систолического давления выше, чем диастолического; биоактивность для возрастающей фазы биоритмов является более высокой, чем для убывающей фазы.

2.2 Артериальное давление и биоритмы двойного воздействия

Различают следующие виды биоритмов двойного воздействия: физическо–эмоциональное, физическо–интеллектуальное, эмоционально-интеллектуальное.

В качестве примера, рассмотрим подробнее первый из названных видов биоритмов.

Совместное воздействие биоритмов физической и эмоциональной активности

Установлены периоды двойного (физической и эмоциональной активности) воздействия биоритмов, находящихся в возрастающей и в убывающей фазах; полученные значения приведены в табл. 4.

Таблица 4. Периоды двойного (физической и эмоциональной активности) воздействия биоритмов

Месяц	70.01	70.02	70.03	70.04	70.05	70.06	70.07	70.08	70.09	70.10	70.11	70.12	Σ
m-i	1 30	31-61	62-91	92-122	123-153	154-181	182-212	213-242	243-273	274-303	304-334	335-365	
Возрастающая фаза биоритмов													
№№ суток	0,5-5, 24-30	31-33, 48-58	76-81	104, 116-117	139-145	162-173	188-196	216-219	254-257	277-285, 300-303	304-311, 328-334	356-357	
ph-em	11,5	14	6	3	7	12	9	4	4	13	15	2	104,5
Убывающая фаза биоритмов													
№№ суток	13-19	36-46,5	62-69,5; 90-91	92-92,5	128-131, 150,5-153	154-159, 174-181	182-184,5; 202-207	230-230,5	243, 266-271	289-299	314-322,5	342-345,5	
ph-em	7	11,5	10,5	1,5	7,5	14	9,5	1,5	7	11	9,5	4,5	95

Полученные результаты (по видам давления и по фазам биоритмов) представлены в табл. 5 и 6 соответственно.

Таблица 5. Достоверность (по видам давления) R^2 аппроксимации двойного (физической и эмоциональной активности) воздействия биоритмов

Давление		Систолическое		Диастолическое	
		Линия	Полином	Линия	Полином
Фаза биоритмов	возрастающая	0,3876	0,5022	0,2231	0,2238
	убывающая	0,3306	0,3515	0,0702	0,0716
Среднее арифметическое	по видам аппроксимации	0,3591	0,4269	0,1467	0,1477
	по видам давления	0,3930		0,1472	
	общее за год	0,2702			

Таблица 6. Достоверность (по фазам биоритмов) R^2 аппроксимации двойного (физической и эмоциональной активности) воздействия биоритмов

Давление			Систолическое		Диастолическое		
			Линия	Полином	Линия	Полином	
Фаза биоритмов	возрастающая	среднее арифметическое	по видам аппроксимации	0,3876	0,5022	0,2231	0,2238
			по видам давления	0,4449		0,2235	
			общее за год	0,3342			
	убывающая	среднее арифметическое	по видам аппроксимации	0,3306	0,3515	0,0702	0,0716
			по видам давления	0,3412		0,0709	
			общее за год	0,2061			
Общее по фазам биоритмов			0,2702				

Получены следующие результаты исследований взаимодействия биоритмов двойного воздействия и артериального давления.

1). Установлена следующая биологическая активность анализируемых воздействий (в порядке убывания): физической и эмоциональной активности - эмоциональной и интеллектуальной активности - физической и интеллектуальной активности.

Предположение. Полученные результаты «созвучны» взаимодействию различных видов деятельности человека на бытовом уровне. Физическая активность человека ассоциируется с его энергией. В свою очередь, энергия – основа жизнедеятельности; иссяк запас энергии – человек погибает.

2). При совместном воздействии биоритмов эмоциональной и интеллектуальной активности получены уникальные, непредсказуемые, результаты: независимость биоритмов и систолического давления, с одной стороны, и математически значимая корреляция между биоритмами в убывающей фазе и диастолическим давлением.

3). Результирующее значение взаимодействия биоритмов двойного воздействия и артериального давления равно $D_d = 0,1541$ (от слова «двойной» - «double», англ.).

4). Среднее арифметическое значение по фазам воздействия биоритмов равно $F_{дв} = 0,1541$ (то есть, $F_{дв} = D_d$); при этом возрастающая фаза биоритмов в 1,13 раза более активна, чем убывающая. *Примечание.* В то же время, отмечен особый - единичный случай: при эмоционально-интеллектуальном воздействии активность возрастающей фазы оказалась вдвое меньше активности убывающей фазы.

2.3 Артериальное давление и биоритмы единичного воздействия

Анализ проводим по той же методике, которая приведена выше. Выявим особенности единичного воздействия биоритмов, находящихся в состоянии физической, эмоциональной и интеллектуальной активности.

В качестве примера рассмотрим первый из вышеуказанных видов активности.

Воздействие биоритмов, находящихся в состоянии физической активности

Определены периоды единичного (физической активности) воздействия биоритмов для возрастающей и убывающей фаз; сведения приведены в табл. 7.

Таблица 7. Периоды единичного (физической активности) воздействия биоритмов

Месяц	70.01	70.02	70.03	70.04	70.05	70.06	70.07	70.08	70.09	70.10	70.11	70.12	Σ
m-i	1 30	31-61	62-91	92-122	123-153	154-181	182-212	213-242	243-273	274-303	304-334	335-365	
Возрастающая фаза биоритмов													
№№ суток	0,5-12 23,5-30	31-35 46,5-58	69,5-81	92,5-104 115,5-122	123-127 138,5-150	161,5-173	184,5-196 207,5-212	213-219 230,5-242	253,5-265	276,5-288	304-311 322,5-334	345,5-357	
ph	18	16,5	11,5	18	16,5	11,5	16	18,5	11,5	15	19,5	11,5	184

Таблица 7 (продолжение)

Месяц	70.01	70.02	70.03	70.04	70.05	70.06	70.07	70.08	70.09	70.10	70.11	70.12	Σ
m-i	1 30	31-61	62-91	92-122	123-153	154-181	182-212	213-242	243-273	274-303	304-334	335-365	
Убывающая фаза биоритмов													
№№ суток	0-0,5 13 23,5	36-46,5 59-61	62-69,5 82-91	92-92,5 105-115,5	128-138,5 151-153	154-161,5 174-181	182-184,5 197-207,5	220-230,5	243-253,5 266-273	274-276,5 289-299,5	312-322,5	335-345,5 358-365	
ph	12	14,5	18,5	13	14,5	16,5	15	11,5	19,5	15	11,5	19,5	181

Дадим оценку данных, полученных при анализе единичного, физической активности, воздействия биоритмов. Полученные результаты (по видам давления и по фазам биоритмов) представлены в табл. 8 и 9 соответственно.

Таблица 8. Достоверность (по видам давления) R^2 аппроксимации единичного, физической активности, воздействия биоритмов

Давление		Систолическое		Диастолическое	
Вид аппроксимации		Линия	Полином	Линия	Полином
Фаза биоритмов	возрастающая	0,3669	0,4362	0,3013	0,3292
	убывающая	0,0633	0,1711	0,4713	0,5331
Среднее арифметическое	по видам аппроксимации	0,2151	0,3037	0,3863	0,4312
	по видам давления	0,2594		0,4088	
	общее за год	0,3341			

Таблица 9. Достоверность (по фазам биоритмов) R^2 аппроксимации единичного, физической активности, воздействия биоритмов

Давление			Систолическое		Диастолическое		
Вид аппроксимации			Линия	Полином	Линия	Полином	
Фаза биоритмов	возрастающая	среднее арифметическое	по видам аппроксимации	0,3669	0,4362	0,3013	0,3292
			по видам давления	0,4016		0,3153	
			общее за год	0,3585			
	убывающая	среднее арифметическое	по видам аппроксимации	0,0633	0,1711	0,4713	0,5331
			по видам давления	0,1172		0,5022	
			общее за год	0,3097			
Общее по фазам биоритмов			0,3341				

Получены следующие результаты исследований взаимодействия биоритмов единичного воздействия и артериального давления.

1). Обозначим: D_{ph} , D_{em} , D_{in} – значения достоверности R^2 аппроксимации единичного воздействия биоритмов, находящихся в состоянии активности, соответственно: физической, эмоциональной и интеллектуальной.

Получены значения: $D_{ph} = 0,3341$; $D_{em} = 0,3857$; $D_{in} = 0,4118$.

D_u – (от слова «единичный» – «unit», англ.) - среднеарифметическое значение величины достоверности R^2 аппроксимации по всем трем видам единичного взаимодействия биоритмов и артериального давления.

$$D_u = 1/3 * (D_{ph} + D_{em} + D_{in}) = 1/3 * (0,3341 + 0,3857 + 0,4118) = 0,3772.$$

2). Приоритетность видов единичного воздействия

$$D_{in} = 0,4118 = 1,0 = 100\% \text{ – наибольшее значение;}$$

$$D_{em} = 0,3857 / 0,4118 = 0,937 = 93,7\%;$$

$$D_{ph} = 0,3341 / 0,4118 = 0,811 = 81,1\%.$$

Следовательно, по степени взаимодействия с артериальным давлением, анализируемые виды единичного воздействия биоритмов располагаются (в порядке убывания) следующим образом: интеллектуальное, эмоциональное и физическое.

3). Систолическое и диастолическое давления

а) Систолическое давление D_{Su}

$$D_{Sph} = 0,2594, D_{Sem} = 0,5056, D_{Sin} = 0,4821.$$

Среднее арифметическое по систолическому давлению

$$D_{Su} = 1/3 * (D_{Sph} + D_{Sem} + D_{Sin}) = 1/3 * (0,2594 + 0,5056 + 0,4821) = 0,4157.$$

б) Диастолическое давление D_{Du}

$$D_{Dph} = 0,4088, D_{Dem} = 0,2657, D_{Din} = 0,3415.$$

Среднее арифметическое по диастолическому давлению

$$D_{Du} = 1/3 * (D_{Dph} + D_{Dem} + D_{Din}) = 1/3 * (0,4088 + 0,2657 + 0,3415) = 0,3387.$$

в) Среднее арифметическое по систолическому и диастолическому давлениям

$$D_{SDu} = 1/2 * (D_{Su} + D_{Du}) = 1/2 * (0,4157 + 0,3387) = 0,3772.$$

г) Соотношение значений систолического и диастолического давлений

$\varepsilon_d = D_{Su} / D_{Du} = 0,4157 / 0,3387 = 1,23$, то есть систолическое давление в 1,23 раза более активно, чем диастолическое.

4). Возрастающая и убывающая фазы воздействия биоритмов

а) Возрастающая фаза F_B

Из анализа следует:

$$F_{ph,b} = 0,3585, F_{em,b} = 0,4587, F_{in,b} = 0,4130.$$

$$F_B = 1/3 * (F_{ph,b} + F_{em,b} + F_{in,b}) = 1/3 * (0,3585 + 0,4587 + 0,4130) = 0,4101.$$

б) Убывающая фаза F_Y

$$F_{ph,y} = 0,3097, F_{em,y} = 0,3126, F_{in,y} = 0,4106.$$

$$F_Y = 1/3 * (F_{ph,y} + F_{em,y} + F_{in,y}) = 1/3 * (0,3097 + 0,3126 + 0,4106) = 0,3443.$$

в) Среднее арифметическое значение по возрастающей и убывающей фазам

$$F_u = 1/2 * (F_B + F_Y) = 1/2 * (0,4101 + 0,3443) = 0,3772.$$

г) Соотношение значений аппроксимации возрастающей и убывающей фаз

$$\varepsilon_f = F_B / F_Y = 0,4101 / 0,3443 = 1,19.$$

5) Установлено, что величины D_u , D_{SDu} и F_u , определенные различными способами, совпадают между собой: $D_u = D_{SDu} = F_u = 0,3772$ (что подтверждает правильность вычислений).

Заключение.

На основании проведенных исследований можно сделать следующие выводы.

1. Предложена методика выявления взаимосвязи биоритмов и артериального давления; представленные результаты можно рассматривать как пример применения предложенной методики.

2. Установлено равенство среднеарифметических значений следующих трех величин: а) D_u - значений достоверности R^2 аппроксимации, б) D_{SDu} - значений систолического и диастолического давлений, в) F_u – значений по возрастающей и убывающей фазам, то есть, $D_u = D_{SDu} = F_u$.

3. Используя предложенную методику, можно провести контрольные измерения артериального давления с соблюдением всех необходимых медицинских и метрологических требований, а затем сравнить полученные при этом данные с результатом исследования автора.

Замечание. Можно предположить, что подобные результаты не были ранее получены по двум причинам: 1) исследования не были привязаны к конкретному индивидууму; 2) возможно, был выполнен недостаточный объём исследований.

Список литературы: 1. Орлов А. И. Прикладная статистика. Учебник. - М.: Экзамен, 2006. - 671 с. 2. Статистический анализ данных, моделирование и исследование вероятностных закономерностей. Компьютерный подход: монография / Б.Ю. Лемешко, С.Б. Лемешко, С.Н. Постовалов, Е.В. Чимитова – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2011. – 888 с. 3. Лекции по эконометрике: учебное пособие /Шанченко Н.И., Ульяновск: УлГТУ, 2008. – 184 с. 4. [Биоритмы онлайн. Расчет 3-х биоритмов человека, таблица биоритмов...](http://geocult.ru/bioritmyi-online-raschet) 5. Уокенбах, Джон. Microsoft Excel 2010. Библия пользователя. Пер. с англ. – М.: ООО “И.Д. Вильямс”, 2013. – 912 с. 6. Коваленко В.И. Инженерная оценка взаимодействия артериального давления и биоритмов // Машиностроение и техносфера XXI века // Сборник трудов XXIX международной научно-технической конференции в г. Севастополе 12-18 сентября 2022 г. – Донецк: ДонНТУ, 2022. – 143 - 146 с. 7. Коваленко В.И. Математическое представление взаимосвязи артериального давления и тройного воздействия биоритмов. – Вестник. Научный журнал «Луганский государственный университет имени ВЛАДИМИРА ДАЛЯ». – № 12 (66), 2022. - С. 177-195.

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕХНОЛОГИИ СБОРКИ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ ДАТЧИКОВ, РАБОТАЮЩИХ В УСЛОВИЯХ ВОЗДЕЙСТВИЯ ВИБРАЦИЙ

Колганова Е.Н., Лебедев В.А., Мельникова Е.П., Шишкина А.П.
(ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет (ДГТУ)»,
Автомобильно-дорожный институт (филиал) ФГБОУ ВО «Донецкий национальный
технический университет», г. Ростов-на-Дону, г. Горловка, Россия, ДНР)
Тел./Факс: +7 (909) 430-95-99; E-mail: elenkolg@list.ru

Abstract: *The article proposes a model of single-stage dimensional analysis. This makes it possible to implement the process of ensuring the specified accuracy of the product by complex calculation of dimensional connections, taking into account the required operability of the product (accuracy of the closing link of the assembly dimensional chain), its operating conditions, as well as taking into account the projected manufacturing and assembly technology (selection of technological bases and calculation of the accuracy of interoperable dimensions, accounting for processing errors).*

Key words: *product, manufacture, accuracy, model, dimensional analysis, operation*

Размерный анализ является важным этапом в процессе подготовки производства к выпуску новой продукции. Он позволяет обеспечить требуемую точность функциональных параметров изделий. При этом размерный анализ является связующим звеном между конструкторскими и технологическими работами. При проектировании устанавливаются и закладываются в конструкции взаимосвязи между параметрами качества изделия с одной стороны и эксплуатационными характеристиками и параметрами самой конструкции с другой. Задачей технолога является реализация разработанных требований конструктора при изготовлении машины с учетом критерия минимальной себестоимости [1].

При эксплуатации размерные связи не остаются постоянными. На изделие будут воздействовать внешние и внутренние факторы, которые приводят к потере точности. Такие воздействия необходимо учитывать при комплексном обеспечении точности в виде эксплуатационных размеров, которые описывают дополнительные размерные связи, возникающие при эксплуатации изделия. Включение эксплуатационных размеров в конструкторские размерные цепи позволяет обеспечивать требуемую точность функциональных параметров в течение заданной долговечности изделия [2].

При проектировании изделий, эксплуатируемых в условиях повышенного воздействия вибраций разработчик сталкивается с необходимостью обеспечения их виброустойчивости. Наибольшее количество отказов изделий приходится на долю механических факторов воздействия, поэтому повышение их надежности в это направлении является важной научно-практической задачей, качество решения которой напрямую зависит от глубины понимания тех механизмов, которые происходят в изделиях при воздействии вибрационных нагрузок. При воздействии вибрационных нагрузок, имеющих широкий диапазон частот, в изделиях могут возникнуть изгибные, поперечные, продольные и поверхностные волны, которые распространяясь по материалу конструкции, ускоряют процессы разрушения. Даже те элементы изделий, дефекты которых в обычных условиях не проявляются, могут оказаться крайне чувствительными по отношению к слабым вибрациям (точечная сварка и др.)

Происходящие под воздействие вибраций в материалах элементов изделия структурно фазовые преобразования, приводящие к изменению их напряженного состояния, определяют снижение надежности, нарушению геометрической

точности изделий и, как следствие, к утрате их функциональных функций. В настоящее время вопрос взаимосвязи качества изделий с их эксплуатационными свойствами и, в частности, с обеспечением вибростойкости не получил должного разрешения. Поэтому задача учета этих факторов на стадии конструкторско-технологической проработки изделий, эксплуатируемых в условиях повышенного воздействия, является актуальной, имеющей важное научное и практическое значение для повышения их работоспособности.

Целью исследований является разработка технологических принципов и расчётных моделей, обеспечивающих на этапе проектирования и изготовления виброустойчивость электромеханических датчиков и выработка на этой основе рекомендаций по внедрению их в конструкторско-технологическую практику

Для достижения поставленной цели рассмотрим процесс проектирования сигнализатора протечек теплоносителя (СП) атомных электростанций. Сигнализатор протечек, является элементом, обеспечивающим нормальную, безопасную эксплуатацию реактора в экстремальных условиях, и предназначен для контроля протечек теплоносителя в узлах уплотнения фланцевых разъёмов блока верхнего реактора.

Проведение традиционного размерного анализа позволяет добиться требуемой точности при изготовлении детали. Однако без учета эксплуатационных процессов нельзя обеспечить точность изделия в течение заданной долговечности. Поэтому важным при проведении размерного анализа конструкций машин представляется учет износа и деформаций (контактных, тепловых, статических) составляющих звеньев и влияние этих и других эксплуатационных явлений на точность исходного (замыкающего) звена.

Применяя теорию размерного анализа конструкций, можно связать ряд этапов конструкторско-технологической подготовки изготовления изделия. На рис. 1 приведена блок-схема обеспечения точности изделия в процессе конструкторско-технологической подготовки производства.

В качестве основных этапов управления точностью изделия выделяют следующие: анализ требований, предъявляемых к изделию, и определение параметров замыкающих звеньев; построение размерных цепей, формирующих необходимые замыкающие (исходные) звенья; предварительная оценка сложности обеспечения требуемой точности замыкающего звена; выбор метода обеспечения точности замыкающего звена; анализ конструкторских размеров с заменой наиболее ответственных или сложных в изготовлении на соответствующие технологические размеры; анализ функционального назначения деталей и их отдельных поверхностей с добавлением необходимых эксплуатационных звеньев; решение построенной размерной схемы и определение всех параметров и мероприятий, необходимых для изготовления и эксплуатации изделия в течение требуемого срока службы.

Любой размер определяет положение одних деталей относительно других деталей (элементов технологической оснастки) или относительное положение различных поверхностей одной и той же детали. В результате в общем виде размер изделия можно представить в виде системы исходных размеров.

$$A_{\text{факт}} = \sum S + \sum \Delta_{\text{изг}} + \sum I_{\text{экс}}$$

где $A_{\text{факт}}$ - конструкторские размеры; $\sum S$ - система технологических размеров, определяемая схемами базирования на технологических операциях в процессе изготовления детали (настроечный размер); $\sum \Delta_{\text{изг}}$ - элементарные погрешности изготовления; $\sum I_{\text{экс}}$ - погрешности, появляющиеся при эксплуатации машины.

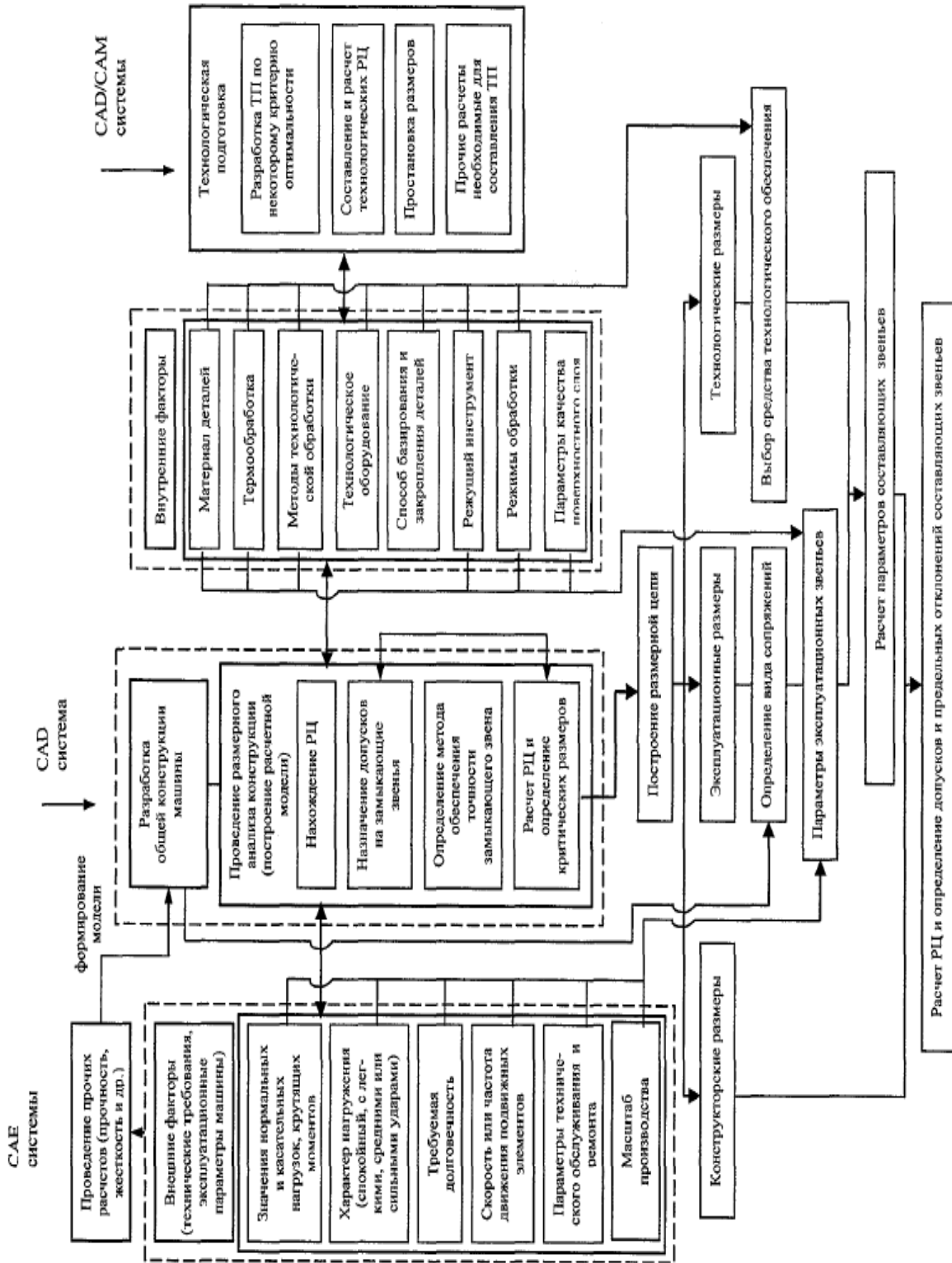


Рисунок 1 - Обеспечение точности изделия в процессе конструкторско-технологической подготовки производства

Следует отметить, эксплуатационные размеры во многом определяются видом описываемого эксплуатационного процесса (износ, контактная деформация, тепловая деформация и др.), а также часто видом сопряжения контактируемых поверхностей. В виду большого разнообразия условий эксплуатации выбор моделей для расчета номиналов и допусков таких размеров должен определяться на основании общих рекомендаций, но с обязательным учетом конкретной ситуации. Следует анализировать те внешние и внутренние факторы, которые будут определять точность составляющих звеньев размерной цепи.

Основными факторами, определяющими точность составляющих размеров, являются:

1. *Значения нормальных и касательных нагрузок, крутящих моментов.* Одним из важных факторов, существенно влияющих на большинство эксплуатационных звеньев, является давление. Важно правильно оценить значение действующих силовых факторов, возникающих при эксплуатации.

2. *Учет характера нагружения* также позволяет повысить надежность проводимого анализа, либо вводить соответствующие коэффициенты запаса, чтобы избежать аварий в особо ответственных случаях.

3. *Требуемая долговечность.* Средний срок службы оказывает существенное влияние на расчет эксплуатационных размеров. Возможны следующие 2 ситуации при обеспечении допуска замыкающего звена:

- учитывается весь допуск составляющего эксплуатационного звена (срок службы детали меньше либо равен сроку службы машины);

- учитывается часть допуска эксплуатационного составляющего размера (срок службы детали превышает срок службы машины).

4. *Скорость или частота движения подвижных элементов.* Этот фактор также формирует эксплуатационные звенья. Особенно сильное воздействие скоростной фактор может оказать при использовании звеньев, характеризующих изнашивание сопряженных поверхностей. В общем случае этот фактор оказывает влияние на эксплуатационные звенья изнашивания через температуру и реологические свойства материалов

5. *Параметры технического обслуживания и ремонта* позволяют реализовывать управление точностью изделия на этапе его эксплуатации. При проработанной системе технического обслуживания и ремонта появляется возможность снижать требования к точности на этапе изготовления и сборки при обеспечении необходимой долговечности изделия.

6. *Масштаб производства.* Этот фактор оказывает важнейшее значение на проектирование технологических процессов изготовления и сборки деталей и узлов.

7. *Материал детали* оказывает большое влияние на выбор методов технологической обработки, что приводит к необходимости учета этого фактора при расчете технологических размеров.

8. *Термическая обработка.* Этот фактор реализует такое же влияние, как и выбор материала деталей.

9. *Технологические методы обработки.* Очевидно, что выбор методов обработки оказывает прямое воздействие на точность технологических размеров, так как это определяет условия обработки.

10. *Режимы обработки* оказывают косвенное влияние на все технологические размеры через силовые, температурные и скоростные параметры условий обработки.

12. *Параметры качества поверхностного слоя* формируют эксплуатационные свойства поверхностей деталей.

Предложенная модель одноступенчатого размерного анализа позволяет реализовать процесс обеспечения заданной точности изделия путем комплексного расчета размерных связей с учетом обеспечения требуемой работоспособности изделия

(точность замыкающего звена сборочной размерной цепи), условий его эксплуатации, а также учетом проектируемой технологии изготовления и сборки (выбор технологических баз и расчет точности межоперационных размеров, учет погрешностей обработки).

Модель позволяет проводить расчет точности функциональных размеров отдельных конструктивных элементов деталей с анализом отклонений формы и расположения контактирующих поверхностей, изменения размеров при эксплуатации (износ, контактные деформации, вибрации и др.), а проектирование операционных размеров увязывается с типом применяемого оборудования (универсальное, копировальное, с ЧПУ и др.).

Непосредственно управление точностью изделия осуществляется на основе конструктивных решений (особенности конструкции, точность замыкающего звена), подбора материалов деталей с соответствующими эксплуатационными характеристиками, выбора методов и условий обработки деталей изделия (тип и точность станков, применяемые приспособления, инструмент, последовательность выполнения операций, типы баз и др.), принятие решений по особенностям технического обслуживания (например, выбор типа смазки), долговечности отдельных деталей и др. Все это повышает качество проектирования машины и прежде всего надежность обеспечения их требуемой точности.

Рассмотренная общая модель является основой для проведения размерно-точностного анализа изготовления СП с учетом его функционального назначения и условий эксплуатации с применением компьютерного моделирования.

Список литературы: 1. Суслов А.Г., Федонин О.Н., Польский Е.А. Научная технология повышения качества сборочных единиц машин на этапах жизненного цикла // Научные технологии в машиностроении. 2016. №5 (59). С. 34 – 42. 2. Польский Е.А. Технологическое обеспечение точности и качества поверхностей деталей машин при проектировании маршрутно-операционного технологического процесса методом синтеза на основе анализа размерных связей // Научные технологии в машиностроении. 2016. №10 (64). С. 39 – 48.

АНАЛИЗ ПЕРСПЕКТИВНЫХ ТРЕБОВАНИЙ К СТРУКТУРЕ, КАЧЕСТВУ И ОБЪЕМАМ ИСПОЛЬЗУЕМОГО ГЕОПРОСТРАНСТВЕННОГО ИНФОРМАЦИОННОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ В РЕГИОНЕ

Коломиец Е.А. (ЮЗГУ, г. Курск, Россия)
Тел./Факс: +79092366205; E-mail: Lenus07@yandex.ru

Abstract: *The analysis of prospective requirements for the structure, quality and volume of geospatial information support used in the region is considered. The article presents the types, automated processing and formation of geospatial information. The conclusion is made about the need for innovative elements of building automated information systems and socio-economic organizations at the regional level.*

Key words: *geoinformation systems, geospatial information, geospatial information support system, remote sensing data, automated information systems.*

В соответствии с «Основами технической политики Российской Федерации на период до 2015 года и дальнейшую перспективу», утвержденными Президентом Российской Федерации 11 марта 2003 г. [1], определены следующие основные требования к системам геопространственного информационного обеспечения системы геопространственного информационного обеспечения (СГПИО):

- создание интегрированных систем, включающих комплексы управления и обеспечения (навигационного, связи и др.), организация их межведомственной совместимости, взаимодействия разнородных автоматизированных информационных систем (АИС), целевых и обеспечивающих комплексов (средств);
- получение, обработка и формирование массивов геопространственной информации (ГПИ) и геопространственных информационных моделей (ГИМ) основного и тематического назначения;
- превращение СГПИО в одну из главных составляющих в региональных и муниципальных АИС.

В свою очередь органы регионального муниципального управления (ОРМУ) и социально-экономической организации (СЭО) предъявляет повышенные, а в ряде случаев и предельно-жесткие требования к ГПИ и данным дистанционного зондирования (ДДЗ), необходимой для организации их эффективного использования в экономическом развитии региона. Данная проблема решается посредством широкомасштабного использования геоинформационных технологий (ГИТ) и геоинформационных систем (ГИС) в составе АИС СЭО различного уровня.

В современных условиях в значительной степени возросли объемы и разнообразие ГПИ и ДДЗ, используемых в СГПИО СЭО. Кроме ДДЗ, растет поток видовой, геодезической, метео– и геофизической информации, которую необходимо анализировать и учитывать при ее использовании в СЭО. Уже сегодня необходимые разновидности данных в требуемых объемах не могут быть приняты, обработаны и интегрированы с использованием существующих программно-информационных средств АИС ОРМУ в процессе своей деятельности. Очевидно, что противоречия, возникшие между возросшими потоками ГПИ и ДДЗ и имеющимися возможностями по их обработке и использованию, обуславливают необходимость использования новых средств, в частности, построенных на принципах ГИС и ГИТ [2].

Анализ ряда результатов исследований в данной предметной области выявил следующие основные виды компонент геопространственного информационного обеспечения (ГПИО) используемых в процессе деятельности ОРМУ и СЭО [3].

Для планирования применения ГПИ в СЭО требуются создание тематических баз геопространственных данных (БГД). При этом в БГД, в зависимости от функционального предназначения целесообразно иметь следующие виды ГПИ:

1. Электронные топографические карты масштабов 1:50 000, 1:100 000. Применяются при решении картометрических задач, формирования маршрута движения транспортных средств. Представляются в виде цифровой картографической модели.

2. Растровые геокодированные электронные карты. Применяются при отсутствии электронных топографических карт для решения картометрических задач, формирования маршрута движения транспортных средств. Представляются в растровой форме. Точность растровой геокодированной карты, составляет в плане - 50 (100) м./ RSW, MrSid, IMG.

3. Опорные цифровые ортофотопланы. Применяются для изготовления из аэрокосмических изображений (АКИ) сезонных матриц плановых изображений. Представляются совокупностью ортотрансформированных "бесшовных" (одного маршрута, снимка, скана) цифровых изображений с заданными перекрытиями по зоне ответственности / TIFF, BMP.

4. Опорные бесшовные изображения. Применяются для оперативного изготовления матриц плановых изображений на заданный район. Представляются в виде цифровых изображений, полученных в результате сканирования кадров топографических снимков / TIFF, BMP, RSW.

5. Космические изображения. Применяются для формирования ГПИ на стационарные и объекты. Представляются в виде цифровых АКИ объекта (участка местности) с необходимыми для СЭО / TIFF, IMG, BMP, JPEG.

6. Матрицы планового изображения. Применяются для формирования участков определения координат. Представляются в виде цифрового матричного фотоизображения заданного района местности / BMP, RSW.

7. Цифровые матрицы рельефа. Применяются для формирования цифровых ортофотопланов и матриц плановых изображений для СЭО. Представляются в виде цифровых картографических моделей, в векторном или матричном (цифровые матрицы рельефа) виде, дискрет создания матрицы 50-15 м / SXF, MTW.

8. Трехмерные цифровые ГИМ местности. Применяются для изучения и оценки местности при тематических расчетах СЭО. Представляются в виде цифрового описания рельефа и объектов местности в виде их трехмерных математических моделей / SXF, MTW.

9. Опорные изображения местности. Применяются для автоматизации процессов геокодирования текущих аэрокосмических изображений. Представляются в виде сформированных по специальным требованиям геокодированных АКИ местности, сопровождаемые информацией в векторной форме / RSW, IMG, TIFF.

10. Трехмерные и двухмерные ГИМ объектов регионов. Применяются для поддержки принятия решения оператором в СЭО при оценке АКИ в различных диапазонах спектра. Представляются в виде трехмерных и двухмерных ГИМ объектов, формируемых различными средствами обработки трехмерной графической информации / ASE - для 3D-моделей и BMP, IMG, TIFF, RSW – для 2D-моделей.

11. Электронные климатические карты. Используются при оценке степени влияния гидрометеорологических характеристик при применении в СЭО. Представляют собой электронную версию климатической информации на фоне картографического изображения местности, отображающей особенности климата заданного района / BMP, JPEG.

12. Нормативно-справочная информация. Применяется для планирования применения СЭО в соответствие с нормативными документами и справочными

данными. Представляется в виде нормативных документов и справочников данных, необходимых для информационного обеспечения / DOC, TXT, XHTML, XML для текстовых файлов, BMP, JPEG, TIFF, PNG – для графических файлов.

В соответствии с проведенными исследованиями [4] СПИО и БГД должны отвечать общесистемным требованиям.

Автоматизированная обработка и формирование (АОФ) ГПИ и ГИМ является основным процессом функционирования ОРМУ и СЭО использующих их в своей работе. Информационное обеспечение планирования и формирования ГПИ и ГИМ для функционирования ОРМУ и СЭО осуществляется в соответствии со следующими принципами:

- мониторинг, моделирование и отображение оперативной обстановки в регионе и управление средствами ГИС и ГИТ в реальном масштабе времени;
- планирование получение и формирование ГПИ целевого назначения на основе новейших информационных, компьютерных и коммуникационных технологий;
- обеспечение эффективного применения СПИО вне зависимости от внешних и внутренних условий;
- обеспечение высокой мобильности и скорости доведения и СПИО до потребителей.

Базовыми оперативно-техническими характеристиками процессов получения, формирования и доведения ГПИ и ГИМ до потребителей согласно целевой программы развития Курской области являются [5, 6]:

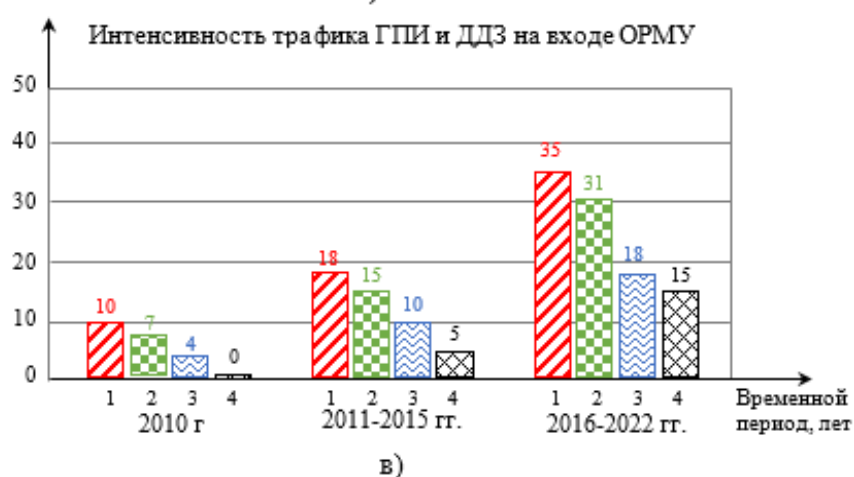
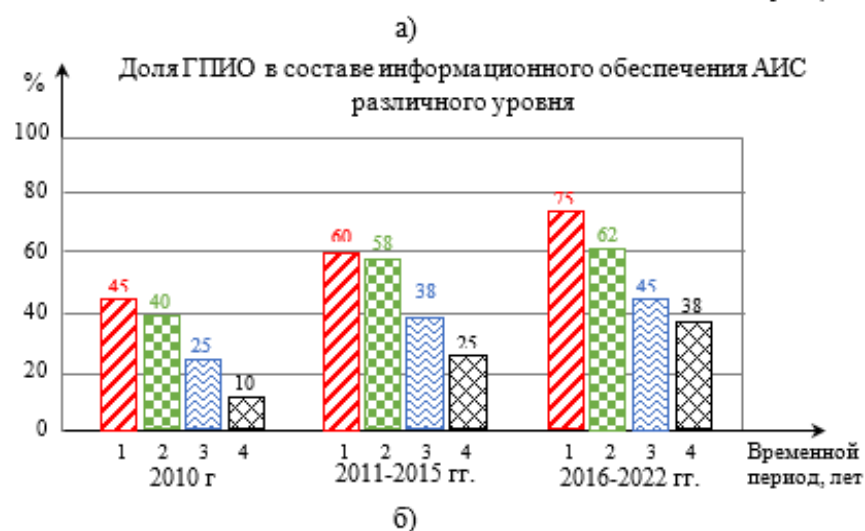
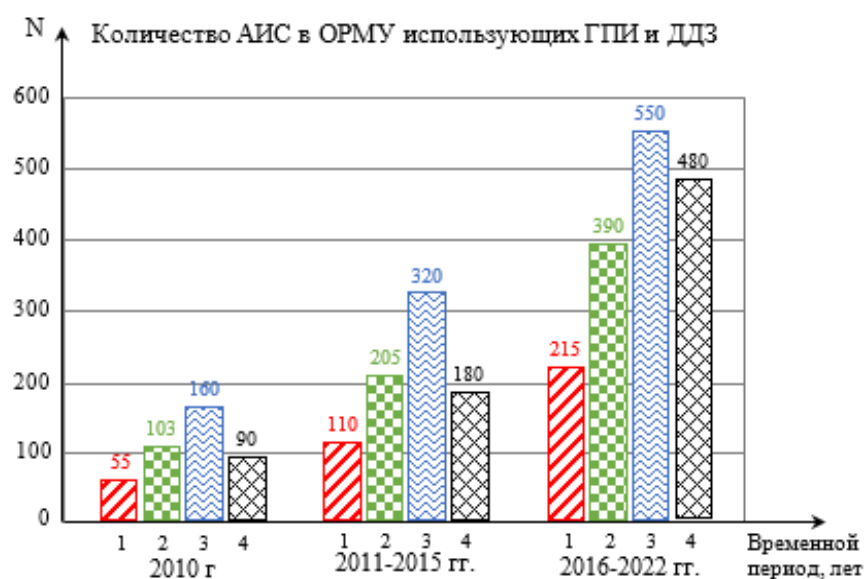
- оперативность цикла «планирования создания СПИО – получение ГПИ и ДДЗ – обработка и формирование ГПИ и ГИМ – применение СПИО»;
- периодичность обновления информации в соответствии со сферой ответственности ОРМУ;
- объем и достаточность информационных ресурсов для планирования и применения в ОРМУ и СЭО;
- стоимость информационных проектов по формированию СПИО для СЭО.

На основе проведенного системного анализа, результатов выполнения исследований в Курском регионе [6] получены перспективные требования к СПИО для региональных СЭО которые представлены на рисунке 1.

Как показано на рисунке 1 количество АИС в ОРМУ использующих ГПИ и ДДЗ на муниципальном уровне в течении трех периодов только увеличивалось, что говорит о необходимости создания и развития автоматизированных информационных систем, использующих ГПИ и ДДЗ.

Также доля СПИО в составе АИС на федеральном уровне в течении трех периодов тоже возрастает, что говорит о необходимости разработки различных способов получения и обработки геопространственной информации и нахождения более детальной информации об объектах на картах с помощью ДДЗ.

Интенсивность трафика ГПИ и ДДЗ на входе ОРМУ со временем становится значимее на всех уровнях, что позволяет нам сделать вывод о том, что для развития информационного обеспечения на всех уровнях управления ОРМУ необходимы инновационные элементы построения АИС и СЭО.



Уровень ОРМУ: 1 - федеральный; 2 - региональный; 3 - муниципальный; 4 - объектовый.

Рисунок 1 – Перспективные требования к ГПИ и ГИМ в составе ГПИО региональных потребителей

Список литературы: 1. ГОСТ Р 52155–2003. Географические информационные системы: федеральные, региональные, муниципальные. Общие технические требования [Текст]. – М.: Госстандарт России, 2004. – 11 с. 2. Карпик, А.П. Методологические и технологические основы геоинформационного обеспечения территорий [Текст]: монография / А.П. Карпик. – Новосибирск: СГГА, 2004. – 260 с. 3. Николаев В.Н. Техничко-экономические модели геоинформационных систем научно-производственных предприятий: монография. - Курск: Издательство ЮЗГУ, 2015. – 220 с. 4. ГОСТ РВ 51987 – 2002. Типовые требования и показатели качества функционирования информационных систем. Общие положения. Госстандарт России, 2002. 5. Региональная система комплексного использования спутниковых навигационных технологий, средств дистанционного зондирования земли и других результатов космической деятельности. Описание информационного обеспечения. Научно-технический отчет. Кн.5, ОАО НПК «РЕКОД» – М., 2014 – 294 с. 6. Коломиец Е.А., Николаев В.Н. Анализ геоинформационного обеспечения в социально-экономических объектах / В.Н. Николаев, Коломиец Е.А. // Сборник научных статей по материалам VI Всероссийской научно-практической конференции «Инфокоммуникации и космические технологии: состояние, проблемы и пути решения» Отв. ред. В. Г. Андронов. (г. Курск, апрель 2020 г.). С. 283-288.

ИНТЕЛЛЕКТУАЛИЗАЦИЯ ГОРНЫХ МАШИН

Комиссаров А. П.,^{1,2} Лагунова Ю. А.,^{1,2} Маслеников О. А.,¹ Шестаков В. С.¹

(1 – Уральский государственный горный университет, Россия, г. Екатеринбург; 2 – Уральский Федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, Россия, г. Екатеринбург)

Abstract: *The paper deals with issues related to the intellectualization of mining machines, using the example of single-bucket electromechanical and hydraulic excavators. It has been established that the composition of the main actuators of single-bucket excavators includes lever and lever-hydraulic mechanisms. Expressions are obtained for the transfer functions of lever mechanisms that determine the kinematic properties and mechanical characteristics of the main actuators. The requirements for rational structural diagrams of lever mechanisms are formulated.*

Keywords: *single-bucket excavators, main actuators, lever mechanisms, transfer functions, rational block diagrams.*

В области идентификации рабочих операций (копание, поворот грузевого и порожнего ковша, разгрузка) одноковшовых экскаваторов можно говорить о векторе состояния внешней рабочей среды, а также о векторе координат главных приводов, то есть о параметрах, определяющих техническое и функциональное состояние экскаватора. Функциональное состояние экскаватора, когда текущая рабочая операция (копание, поворот грузевого и порожнего ковша, разгрузка) является частью вектора, содержащего также другие параметры, необходимые или значимые для задач мониторинга, контроля, управления, то есть будущей интеллектуальной модели карьерного экскаватора.

Идентификация функционального состояния карьерного экскаватора – это часть решения таких задач как визуальное определение массы породы в ковше, оптимальное управление приводами напора и подъема, автоматизации или роботизации рабочих операций.

Традиционно модули, отвечающие за идентификацию рабочего состояния экскаваторов, строятся на теоретической базе элементарных алгебраических функций, что не позволяет качественно идентифицировать все многообразие рабочих операций, встречающихся при эксплуатации экскаваторов в различных горно-технологических условиях.

В рамках имитационного моделирования было выявлено, что наиболее значимыми параметрами для идентификации состояний карьерных экскаваторов являются характеристики тока и напряжения главных приводов.

Для идентификации операций применяется анализ параметров электромеханической системы экскаватора, в частности, тахограммы главных приводов – напора, поворота и подъема. При этом трудность состоит в нахождении текущей координаты ковша, которая, как правило, определяется косвенно, на основе геометрических вычислений.

Определение положения ковша происходит на основе вычисления положения характерных точек рабочего оборудования в вертикальной плоскости, проходящей через ось напорного вала с учетом сил тяжести элементов рабочего оборудования и плеч действия этих сил относительно указанной оси. За основу вычислений взяты геометрические параметры рабочего оборудования экскаватора и геометрические параметры его рабочей зоны. В свою очередь, можно получить экспериментальные значения при условии установки соответствующих датчиков в необходимых контролируемых узлах рабочего оборудования карьерного экскаватора. Таким образом, задача нахождения координаты ковша сводится к математическому аппарату геометрического моделирования и решается в рамках заданной плоскости посредством решения системы уравнений, описывающих координаты основных точек рабочего механизма.

Общим недостатком предлагаемых решений является установка датчиков для сбора данных на валах лебедок и других узлах, где возникают динамические силы, что приводит к

постоянному накапливанию ошибки и неизбежно влечет за собой необходимость тарировки датчиков не реже раза в сутки. На накопление ошибки влияют и параметры намотки каната на барабан подъемной или напорной лебедки, чем пренебрегают в рамках математического моделирования процесса. На эффективность предлагаемых решений в существенной степени оказало влияние несовершенство используемой элементной базы и общий уровень развития информационных технологий, который значительно возрос за последние несколько десятилетий.

Рассмотрим следующие задачи: кинематический и силовой анализ рычажного и рычажно-гидравлического механизмов; определение передаточных функций рычажных механизмов; обоснование рациональных режимных параметров главных исполнительных механизмов; синтез структурных схем рычажных механизмов.

Особенность процесса экскавации горных пород рабочим оборудованием прямая лопата при совместном действии главных механизмов (подъемного и напорного) заключается в образовании рычажного механизма, соединяющего главные механизмы с ковшом [1].

В механизме с двумя обобщенными координатами в качестве обобщенных координат могут быть приняты координаты двух звеньев или одного звена, если оно образует со стойкой двухподвижную пару [2]. Следовательно, в качестве обобщенных координат следует принять координаты звена «рукоять – ковш», образующего со стойкой двухподвижную пару (поступательную и вращательную).

Разработана имитационная модель процесса экскавации горных пород рабочим оборудованием прямая лопата, определяющая рациональные значения режимных параметров главных механизмов, обеспечивающих реализацию заданных траекторий перемещения ковша в соответствии со схемой отработки экскаваторного забоя [3].

Проведен вычислительный эксперимент по расчету режимных параметров главных механизмов карьерного экскаватора ЭКГ-20А производства ПАО «Уралмашзавод» при обработке забоя.

Особенностью главных механизмов гидрофицированного рабочего оборудования является наличие кинематической связи между гидродвигателями (гидроцилиндрами) и звеньями механизмов, так как сами гидродвигатели (собственно цилиндр и поршень со штоком) являются звеньями механизмов.

При этом соотношения между параметрами механической энергии гидродвигателей и энергосиловыми параметрами, реализуемыми на ведомых звеньях (стреле, рукояти и ковше), зависят как от вида механической характеристики гидродвигателей, так и от типа структурной схемы механизмов.

На основе кинематического и силового анализа главных механизмов гидравлического экскаватора получены аналитические выражения для расчета кинематической и силовой передаточных функций [4].

В этом случае, номинальный режим работы гидродвигателя механизма поворота ковша при полном использовании установленной мощности двигателя может быть реализован при идеальной механической характеристике механизма поворота ковша в виде монотонно возрастающей функции.

Список литературы: 1. Комиссаров А. П., Летнев К. Ю., Лукашук О. А. Анализ двухкривошипно-рычажных механизмов рабочего оборудования карьерных экскаваторов // Технологическое оборудование для горной и нефтегазовой промышленности: сб. трудов XV Междунар. науч.-техн. конф. «Чтения памяти В. Р. Кубачека», 20-21 апреля 2017 г., г. Екатеринбург. Екатеринбург: УГГУ, 2017. С. 41 – 46. 2. Левитский Н. И. Теория механизмов и машин. М.: Наука. 1979. 576 с. 3. Лукашук О.А., Летнев К.Ю., Комиссаров А.П. Определение режимов работы двигателей главных механизмов одноковшового экскаватора // Изв.вузов. Горный журнал № 5. 2017.С.52-58. 4. Малафеев С.И., Тихонов Ю.В. Компоненты интеллектуального управления для карьерных экскаваторов // Автоматизация в промышленности. 2013. №10. С.33-37.

МЕТОД НАХОЖДЕНИЯ СИМВОЛОВ НА ИЗОБРАЖЕНИЯХ ПРИ ПОМОЩИ УПРОЩЕННОЙ СВЕРТОЧНОЙ НЕЙРОННОЙ СЕТИ

Конаныхин А.Ю., Конаныхина Т.Н. (ЮЗГУ, г. Курск, Россия)

Тел./Факс: +7 (4712)22-26-62; E-mail: govtn@mail.ru

Abstract: *in this article, we will consider the method of finding symbols in images using a simplified convolutional neural network. The proposed method uses a convolutional neural network to isolate and classify characters in an image. However, unlike complex and deep neural network architectures, it is proposed to use a simplified model that allows achieving high character recognition accuracy with minimal requirements for computing resources.*

Key words: *Convolutional Neural Network, classification of features, character recognition*

Распознавание символов на изображениях является фундаментальной задачей в области компьютерного зрения и имеет множество практических применений. Символы могут быть цифрами, буквами или другими графическими элементами, например, иероглифами, знаками препинания и т.п., которые нужно обнаружить и распознать для дальнейшего анализа или обработки данных [1,2,3]. В данной статье мы предлагаем метод нахождения символов на изображениях при помощи упрощенной сверточной нейронной сети (Convolutional Neural Network, CNN).

Для нахождения символов на изображениях при помощи CNN необходимо применить подход, известный как объектное обнаружение или детектирование объектов [4].

Сверточная нейронная сеть – это особый тип нейронной сети, который эффективно работает с изображениями, учитывая их структуру и связи между пикселями [5]. Она состоит из нескольких слоев: входного слоя, сверточных слоев, субдискретизационных слоев и полносвязных слоев. Входной слой принимает на вход изображение, а последующие слои выполняют операции свертки и субдискретизации для извлечения признаков из изображения. Полносвязные слои выполняют классификацию найденных признаков.

Процесс обучения сверточной нейронной сети находит свое применение в классификации символов на изображениях [6]. Для этого требуется набор данных, содержащий изображения символов с соответствующими метками. Обучение сети состоит из двух основных этапов: прямого распространения и обратного распространения ошибки [7, 8].

На первом этапе происходит передача сигналов вперед через сеть и вычисление выходного значения для каждого символа. В случае, если выходное значение превышает определенный порог, символ классифицируется как присутствующий на изображении.

Второй этап, обратное распространение ошибки, позволяет сети корректировать свои веса с целью увеличения точности классификации. Для этого используется метод градиентного спуска, который оптимизирует параметры сети на основе ошибок классификации.

Однако, упрощенная сверточная нейронная сеть не обладает такой высокой точностью, как полноценная модель. Тем не менее, она является эффективным и быстрым решением для задачи нахождения символов на изображениях, особенно в случае работы с наборами данных, содержащими символы одного шрифта и размера. Размерность входного изображения сокращается с каждым сверточным слоем и субдискретизационным слоем, что позволяет сети сосредоточиться на более важных признаках изображения.

```

\begin{figure}[h]
\centering
\includegraphics[width=10cm]{cnn_architecture.png}
\caption{Архитектура упрощенной сверточной нейронной сети}
\end{figure}

```

На рис. 1 показана архитектура упрощенной сверточной нейронной сети для распознавания символов на изображениях.

	Тип слоя свертки	Количество ядер свертки	Размер свертки и размер шага	Выходной размер карты объекта
	Convolutional	32	3x3	256x256x32
	Convolutional	64	3x3/2	128x128x64
1x	Convolutional	32	1x1	
	Convolutional	64	3x3	
	Dens Block			128x128x64
	Convolutional	64	1x1	
	Convolutional	128	3x3/2	64x64x128
1x	Convolutional	64	1x1	
	Convolutional	128	3x3	
	Dens Block			64x64x128
	Convolutional	64	1x1	
	Convolutional	256	3x3/2	32x32x256
3x	Convolutional	128	1x1	
	Convolutional	256	3x3	
	Residual			32x32x256
	Convolutional	512	3x3/2	16x16x512
3x	Convolutional	256	1x1	
	Convolutional	512	3x3	
	Residual			16x16x512
	Convolutional	1024	3x3/2	8x8x1024
2x	Convolutional	512	1x1	
	Convolutional	1024	3x3	
	Residual			8x8x1024

Рисунок 1 - Архитектура упрощенной сверточной нейронной сети

Она состоит из чередующихся сверточных слоев и субдискретизационных слоев, а также полносвязных слоев для классификации найденных признаков.

Для данного класса задач обычно используются архитектуры CNN, такие как YOLO (You Only Look Once), SSD (Single Shot MultiBox Detector) или Faster R-CNN (Region-based Convolutional Neural Networks). Эти архитектуры способны обнаруживать и локализовать объекты на изображении.

Сверточные слои выполняют операцию свертки на входном изображении. Свертка представляет собой применение фильтра к изображению для выделения определенных признаков. Например, фильтр может выделять границы или текстуры символов. Затем результат свертки проходит через нелинейную функцию активации, такую как ReLU (Rectified Linear Unit), чтобы добавить нелинейность в модель.

Следующий компонент - слои подвыборки (pooling layers), которые уменьшают размерность предыдущего слоя, сохраняя важные признаки. Они помогают ускорить

обработку и снизить количество параметров в модели, что способствует борьбе с переобучением.

После слоев подвыборки следуют полносвязные слои, которые преобразуют выходные данные в вектор фиксированной длины. Эти слои имеют полносвязную структуру, где каждый нейрон связан со всеми нейронами предыдущего слоя. После полносвязных слоев обычно применяется функция Softmax, которая преобразует выходные значения в вероятности принадлежности к каждому классу символов.

Для обучения упрощенной сверточной нейронной сети требуются размеченные данные, то есть изображения, на которых указаны правильные символы. Обычно используется метод градиентного спуска, чтобы оптимизировать веса модели и минимизировать ошибку распознавания символов.

Процесс нахождения символов на изображении с помощью данной сверточной нейронной сети состоит из следующих шагов:

1. подготовка данных: изображения символов разбиваются на обучающий и тестовый наборы. Также производится предварительная обработка изображений, такая как изменение размера, нормализация яркости и т.д.

2. обучение сети: на обучающем наборе данных производится обучение сверточной нейронной сети. Во время обучения сеть настраивает свои параметры для более точной классификации символов.

3. тестирование сети: после обучения сети производится тестирование на тестовом наборе данных. На выходе получается классификация символов на изображении.

4. пост-обработка результатов: полученный результат классификации может быть подвергнут дополнительной пост-обработке, такой как удаление шума, объединение близлежащих символов и т.д.

Перед началом разработки и тренировки модели необходимо подготовить набор данных, содержащий размеченные изображения, где символы находятся вместе с соответствующими метками о их положении. Этот процесс может потребовать ручной разметки или использования доступных наборов данных, таких как MNIST или CIFAR-10.

Для нашего метода мы используем упрощенную архитектуру сверточной нейронной сети. Она состоит из нескольких слоев, которые выполняют операцию свертки для извлечения признаков, а также пулинговых слоев для снижения размерности данных. Затем полученные признаки подаются на полносвязный слой со связями между всеми нейронами, где выполняется классификация и регрессия для определения положения символов.

После подготовки данных и определения архитектуры сверточной нейронной сети начинается процесс тренировки. В этом шаге данные подаются на входную часть сети, и каждый образец проходит через слои свертки, активации и пулинга. Затем полученные признаки подаются на полносвязный слой, где происходит классификация символов.

Метод обратного распространения ошибки используется для обучения сети, где функция потерь (например, кросс-энтропия или среднеквадратичная ошибка) вычисляется между прогнозами сети и истинными значениями меток. Затем используется алгоритм оптимизации, например, стохастический градиентный спуск, для обновления весов сети и минимизации функции потерь.

В алгоритме YOLOv3 функция потерь целевого позиционирования принимает сумму квадрата ошибки потери координат центра и координат ширины и высоты между реальным целевым кадром и прогнозируемым целевым кадром, но функция потерь,

определяемая этим методом, сильно зависит от целевого масштаба. Чтобы решить эту проблему, вводится расчет связанной с этим ошибки.

IOU (Intersection Over Union) определяется между областью, в которой прогнозируется обнаружение цели и полем реальной маркировки на этапе проверки (1).

$$IOU = \frac{area(C) \cap area(G)}{area(C) \cup area(G)} \quad (1)$$

После завершения процесса тренировки мы можем оценить производительность нашей упрощенной сверточной нейронной сети. Для этого используются тестовые данные, которые не были использованы в процессе тренировки. Мы подаем эти данные на вход модели и получаем прогнозы о положении символов.

Важно оценить качество обнаружения символов на изображениях. Для этого можно использовать метрики, такие как точность (precision), полноту (recall) и F1-меру (F1-score). Точность показывает, какой процент обнаруженных символов является корректным, полнота отражает, какой процент реальных символов был правильно обнаружен, а F1-мера объединяет эти две метрики для получения общей оценки качества.

По окончании тренировки и оценки производительности мы можем использовать нашу упрощенную сверточную нейронную сеть для обнаружения символов на новых изображениях. Для этого мы подаем изображение на вход сети и получаем прогнозы о положении символов. Дополнительные алгоритмы обработки могут быть применены для определения границ символов и выделения их контуров.

Упрощенная сверточная нейронная сеть показывает хорошие результаты при распознавании символов на изображениях, особенно в задачах с ограниченным набором символов и хорошо подготовленными данными. Она может быть применена в различных областях, таких как распознавание номерных знаков, распознавание рукописного текста и многое другое.

Метод нахождения символов на изображениях при помощи упрощенной сверточной нейронной сети является мощным инструментом для автоматического распознавания символов в различных приложениях компьютерного зрения. Его преимущества включают автоматическое извлечение признаков, гибкость и адаптивность к различным условиям распознавания символов. Этот метод продолжает развиваться и находить применение в таких областях, как автомобильная промышленность, банковское дело, логистика и медицина, упрощая и автоматизируя процессы, связанные с обработкой символов на изображениях.

Список литературы: 1. Методы улучшения выделенной области изображения при быстродействующей обработке символьной информации / Конаныхин А.Ю., Конаныхина Т.Н., Панищев В.С. // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. 2021. Т. 11. № 4. С. 106-119. 2. Processing of MRI data for oncological diseases prediction / Konanykhin A.Yu., Konanykhina T.N. // Медико-экологические информационные технологии - 2021. Сборник научных статей по материалам XXIV Международной научно-технической конференции. Курск, 2021. С. 76-83. 3. Алгоритм быстрого нахождения контура на основе метода следования за пикселями / Конаныхина Т.Н., Конаныхин А.Ю., Авилов И.А. // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. 2022. № 2 (58). С. 18-26. 4. Математические модели прогнозирования и ранней диагностики профессиональных заболеваний нервной системы, провоцируемых комбинированным воздействием разнородных факторов риска / Говорухина Т.Н.,

Мясоедова М.А., Григоров И.Ю., Поляков А.В. // Системный анализ и управление в биомедицинских системах. 2019. Т. 18. № 2. С. 145-152. **5.** Разработка и реализация web-ресурса для стоматологической клиники / Малышев А.В., Конаныхина Т.Н., Немченко С.А. // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. 2022. Т. 12. № 1. С. 33-53. **6.** Метод синтеза математических моделей прогнозирования и ранней диагностики нарушений когнитивных функций / Корневский Н.А., Родионова С.Н., Поляков А.В., Говорухина Т.Н. // Системный анализ и управление в биомедицинских системах. 2019. Т. 18. № 4. С. 85-92. **7.** Аналитическая и структурная модели принятия решения в процессе обнаружения последовательности видеоимпульсов с использованием процедуры дифференцирования входного воздействия / Бурмака А.А., Цыплаков Ю.В., Говорухина Т.Н. // Радиотехника. 2017. № 10. С. 163-168. **8.** Algorithm for finding contours for the purpose of processing symbolic information in conditions of small symbol size and chromatic aberrations / Konanykhin A.Y., Konanykhina T.N. // Journal of Physics: Conference Series. 10 "X International Scientific and Practical Conference Information and Measuring Equipment and Technologies, IMET 2020" 2021. С. 012018.

ИМПОРТЗАМЕЩЕНИЕ АЗОТНЫХ СТАНЦИЙ

Копачев Д.Н., Грицай В.В., Шашерина С.А. (ООО «НСК» ст-ца Динская,
Краснодарский край, РФ)
Телефон +7 (918) 448 97 66, e-mail: Shasherina_s@nskomp.ru).

***Abstract:** The article covers the features of developing import-substituting equipment for civil ships of large tonnage under construction or planned for construction. A comparative analysis of the main technical characteristics of different types of nitrogen stations is provided. And comparison of the advantages and disadvantages of nitrogen production technologies.*

В связи с нарастающим санкционным давлением и целью правительства Российской Федерации по достижению полного импортозамещения в судовой отрасли, возникла острая необходимость в разработке и постановке на производство азотных станций, входящих в состав судового комплектующего оборудования.

Импортозамещение является важной задачей для развития российской экономики. При наличии базовых компетенций технологического «ноу-хау» и соответствующих инвестиций, Россия может существенно сократить импорт и начать производство азотных станций на местных предприятиях.

В статье Гненного О. «Об импортозамещении: «Производители оборудования пользуются моментом, принимают условия и хотят развиваться», руководитель центра импортозамещения и локализации судового комплектующего оборудования АО «ЦНИИ «Курс» Стоянов Д.О. отметил, что основными препятствиями к успешной реализации процесса импортозамещения являются следующие факторы:

- Неосведомлённость верфей и КБ о производственных возможностях отечественных предприятий по производству судового оборудования.
- Нежелание российских производителей вкладывать собственные средства в разработку новых комплектующих для отечественного оборудования и новых сложных проектов.
- Разобщённость производителей.

В статье также отмечена существенная проблема, препятствующая локализации. Она заключается в отсутствии таможенных пошлин на готовый продукт для иностранных производителей, в то время как пошлины на комплектующие для производственной сборки завышены порой до 15%. Безусловно, такой перекокс негативно сказывается на рынке отечественной продукции.

Что касается иностранных партнёров, здесь тоже остро стоит вопрос локализации. Многие компании не понимают условий российского рынка [1].

Российским производителям необходима законодательная и финансовая поддержка и одним из важнейших инструментов является Постановление Правительства Российской Федерации № 1872 “Об утверждении Правил предоставления субсидий из федерального бюджета российским организациям на финансовое обеспечение затрат на выполнение комплексных проектов по разработке, созданию и внедрению в серийное производство судового комплектующего оборудования” от 20 октября 2022 г. [2].

ООО «Краснодарский компрессорный завод» (ООО «ККЗ») обладает необходимыми потенциалом для выполнения самых сложных проектов в области разработки, производства и поставки азотных станций, в настоящее время практически все используемые судовые азотные станции произведены за рубежом и по большей части в недружественных странах, что стало основой для реализации инновационных проектов по разработке и постановке на серийное производство азотных станций как судового

комплектующего оборудования в рамках Постановления Правительства РФ № 1872 в соответствии со следующими техническими требованиями:

– мембранный генератор азота с собственным компрессором производительностью 50 Нм³/ч, чистотой азота не менее 95%, точкой росы не выше -50° С для арктических танкеров-челноков дедвейтом 120 тыс. тонн (проект 125), крупнотоннажных нефтяных танкеров дедвейтом 114 тыс. тонн типа Aframax, танкеров MR-класса дедвейтом 51 тыс. тонн;

– мембранный генератор азота с собственным компрессором производительностью не менее 140 Нм³/ч, чистотой азота не менее 97%, точкой росы не выше -70° С для танкеров-газовозов ледового класса (проект 129);

– мембранный генератор азота с собственным компрессором, чистотой азота не менее 97%, точкой росы не выше -55° С для перспективных судов снабжения усиленного ледового класса МФЛС (проект 23650);

– мембранный генератор азота с собственным компрессором производительностью не менее 18 Нм³/ч, чистотой азота не менее 99%, точкой росы не выше -55°С для плавучих баз комплексного обеспечения шельфовых работ [3].

Разрабатываемые ККЗ станции по производству азота могут применяться как на эксплуатируемых, так и на строящихся судах. Все генераторы азота на данных судах сегодня иностранного производства и по истечении их эксплуатационных ресурсов они потребуют ремонта либо полной замены, без запасных частей и сервиса дальнейшая работа генераторов невозможна. А так как страна взяла курс на импортозамещение, судовладельцам придётся сотрудничать с отечественными компаниями или искать поставщиков среди дружественных России государств.

В рамках проектов по постройке судов также возникнет необходимость в поставке генераторов азота.

Азот является наиболее доступным, чистым от механических примесей, препятствующим коррозии и горению, а также выгодным экономически газом.

Благодаря своим инертным свойствам, азот позволяет выполнять задачи, в которых особенно важны пожаро- и взрывобезопасность. Это достигается путем сведения к минимуму вероятности воспламенения при возникновении искры, электростатических разрядов, электрической дуги и прочих факторов.

Существует несколько технологий получения азота:

- Мембранный метод.
- Метод адсорбции.
- Криогенная технология.

Сравнительный анализ основных технических характеристик различных типов установок представлены на рисунке 1:

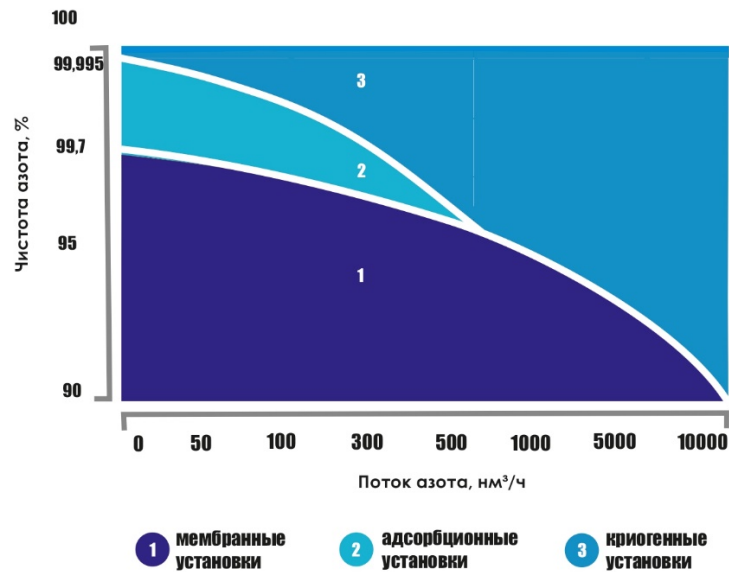


Рис.1. Сравнительный анализ технических характеристик технологий получения азота
Сравнение преимуществ и недостатков технологий приведено в таблице 1.

Таблица 1. Сравнение технологий

Метод	Преимущества	Недостатки
Мембранный	<ol style="list-style-type: none"> 1. Занимает минимальную площадь в сравнении с другими системами получения азота. 2. Вырабатывает азот прямо на месте эксплуатации. 3. Мобильность. Благодаря своей компактности такая установка, помещенная в блок-контейнер, может быть помещена на шасси и перемещаться с объекта на объект. 4. Простота регулировки производительность/чистота газа при помощи одного регулятора расхода на выходе. 5. Нечувствительность метода к наличию в сжатом воздухе паровобразной влаги. 6. Газоразделительный блок (ГРБ) на основе мембран не требует регулярного обслуживания или замены. 7. Длительный срок работы мембран (от 5 лет при хорошей подготовке воздуха), высокая стои- 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Ограничения по чистоте получаемого азота (до 99,7 %). 2. Чувствительность мембраны к наличию паров компрессорного масла и температуре подаваемого воздуха (необходимо использовать дополнительное оборудование для подготовки воздуха).

	<p>мость, составляющая большую часть цены мембран всей азотной установки.</p>	
Адсорбция	<ol style="list-style-type: none"> 1. Возможность получать азот высокой чистоты (до 99,995%). 2. Возможность получения азота разной чистоты без экономических потерь при снижении чистоты азота. 3. Возможность регенерации элементов адсорбции и продление данным действием срок службы установки. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Не позволяет получать сжиженный газ. 2. Чувствительность адсорбента к наличию паров компрессорного масла и температуре подаваемого воздуха (необходимо использовать дополнительное оборудование для подготовки воздуха). 1. Наличие в сжатом воздухе паровобразной влаги вызывает снижение эффективности работы адсорбента, в связи с чем обязательно требуется установка осушителя сжатого воздуха. 2. Для изменения расчетной производительности и чистоты газа необходимы дополнительные программные настройки. 3. Возможно попадание адсорбента (пыли) в трубопроводы после станции и засорение трубопроводов или других технологических систем потребителя. 4. Сильно деградирует при воздействии соли. 5. Требуется регулярного обслуживания и замены адсорбента. 6. Низкая производительность.
Криогенный	<ol style="list-style-type: none"> 1. Высокая степень чистоты получаемого газа, в том числе и кислорода. 2. Высокая производительность оборудования. 3. Возможность получения как газообразных, так и сжиженных продуктов разделения воздуха. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Требуют значительного времени для выхода на режим. 2. Высокая изначальная стоимость оборудования. 3. Включают в себя множество компонентов: систему очистки, тепло- и массообменное оборудование, детандер, систему автоматики, что влечет за собой сложность обслуживания и повышает вероятность отказов. 4. Размещаются стационарно и занимают большую площадь. 5. Требуют постоянного сообщения с объектом применения для регулярной доставки жидкого или газообразного азота в баллонах, что недопустимо для автономных проектов.

На основе вышеизложенного анализа можно сделать вывод, что наиболее надежным и недорогим способом получения азота в технических объемах является использование установки на основе газоразделения мембранным методом.

Компания ведет разработки мембранных модулей для газоразделения и получения азота [4-6], имеет значительный опыт в реализации различного рода инновационных проектов, что подтверждается более чем 200-ми патентами на изобретение, полезные модели и промышленные образцы. В частности, 15 патентов на азотные станции [4-23].

Азотные и компрессорные станции серии ТГА являются лауреатами конкурса «Сто лучших товаров России» – обладателями золотого знака, они также отмечены специальной наградой – Кубком победителя «За успехи в импортозамещении».

Азотные станции серии ТГА в морском исполнении применяются для освоения и ремонта газовых и нефтяных скважин, повышения нефтеотдачи пластов (коэффициента извлечения нефти), очистки и испытаний трубопроводов, обеспечения пожаробезопасности на морских платформах [24-26]. Обеспечивают надёжную и эффективную работу в самых разнообразных условиях. Это подтверждает многолетний опыт успешных поставок воздушных компрессоров и компрессорных станций производства ККЗ на морские суда геофизических и геологоразведочных компаний, таких как ОАО «Морская арктическая геологоразведочная экспедиция» (МАГЭ) и ОАО «Дальморнефтегеофизика». ОАО «Морская арктическая геологоразведочная экспедиция» заказывает и эксплуатирует на своем флоте компрессорную технику Краснодарского компрессорного завода с 2015-го года.

Типоряд установок по производству азота, предназначенных для использования на гражданских судах большого тоннажа, разрабатывается на базе хорошо зарекомендовавших себя на практике установок, которые на сегодняшний день производятся ООО «ККЗ». И для успешной конкуренции с иностранными производителями необходима постоянная модернизация Российского производства.

Важно отметить, что проекты, выполняемые в рамках Постановления Правительства РФ № 1872 и субсидируемые Минпромторгом являются комплексными, что предполагает с одной стороны модернизацию существующего производства исполнителем проекта, с другой – реализацию производственной серийной продукции, в первую очередь, на отечественном рынке.

Новые разработки и модели на их основе позволят провести полное импортозамещение судовых установок по производству азота и исключить зависимость от импорта, получить современные характеристики и конструкции, исполнение всех моделей в транспортном габарите и со стабильной концентрацией азота на выходе из станции.

Список литературы: 1. Гненной, О. Об импортозамещении: «Производители оборудования пользуются моментом, принимают условия и хотят развиваться» / О. Гненной // Корабел РУ. – 2021. – № 3 (53) – С. 132-147. 2. Российская федерация. Правительство. Об утверждении Правил предоставления субсидий из федерального бюджета российским организациям на финансовое обеспечение затрат на выполнение комплексных проектов по разработке, созданию и внедрению в серийное производство судового комплектующего оборудования: постановление Правительства Рос. Федерации от 20 окт. 2022 г. № 1872. – Доступ из справочно-правовой системы Консультант Плюс. 3. ООО «ККЗ» Отчет. Разработка установки по производству азота. «Замещение – Азотная станция». № НИОКР: ККЗ/12.22-Н. Соглашение от 20.12.2022 г. № 020-11-2022-1807 4. Патент 114490 U1 Российская Федерация, МПК F04B 41/00. Передвижная азотная компрессорная станция: № 2011143263/06: заявл. 26.10.2011: опубл. 27.03.2012/ 5. Ворошилов И.В.; заявитель и патентообладатель общество с ограниченной ответ-

ственностью "Краснодарский Компрессорный завод" **6.** Патент 135268 U1 Российская Федерация. МПК В01D 53/00. Генератор азота: №2013122184/05: заявл. 14.05.2013: опубл. 10.12.2013/ Ворошилов И.В. Чумак А.П.; заявитель и патентообладатель общество с ограниченной ответственностью "Краснодарский Компрессорный завод" **7.** Патент 139807 U1 Российская Федерация, МПК F04B 41/00. Компрессорная станция азотная мобильная: №2013111405/06: заявл. 13.03.2013: опубл. 20.04.2014/ Ворошилов И.В.; заявитель и патентообладатель общество с ограниченной ответственностью "Краснодарский Компрессорный завод" **8.** Патент 138766 U1 Российская Федерация. МПК F04B 41/06. Передвижная азотно-воздушная компрессорная станция (варианты): №2013118882/06: заявл. 23.04.2013: опубл. 20.03.2014/ Ворошилов И.В., Юрьев А.В.; заявитель и патентообладатель общество с ограниченной ответственностью "Краснодарский Компрессорный завод" **9.** Патент 2791690 C1 Российская Федерация, МПК F04B 53/10, F16K 27/00. Азотная компрессорная станция: №2022106760: заявл. 15.03.2022: опубл. 13.03.2023/ Ворошилов И.В., Мельник А.В.; заявитель и патентообладатель общество с ограниченной ответственностью "Новая сервисная компания" **10.** Патент 212011 U1 Российская Федерация, МПК F04B 41/00. Передвижная азотная компрессорная станция: №2020133205: заявл. 08.10.2020: опубл. 01.07.2022/ Ворошилов И.В., Мельник А.В.; заявитель и патентообладатель общество с ограниченной ответственностью "Краснодарский Компрессорный завод" **11.** Патент 202544 U1 Российская Федерация, МПК F04B 41/00. Передвижная азотная компрессорная станция: № 2020139406: заявл. 01.12.2020: опубл. 24.02.2021/ Ворошилов И.В., Мельник А.В.; заявитель и патентообладатель общество с ограниченной ответственностью Общество с ограниченной ответственностью «Краснодарский Компрессорный завод» **11.** Патент 202563 U1 Российская Федерация, МПК F04B 41/00. Передвижная азотная компрессорная станция: № 2020139426: заявл. 01.12.2020: опубл. 25.02.2021/ Ворошилов И.В., Моренко В.С., Комиссаров С.Н.; заявитель и патентообладатель общество с ограниченной ответственностью «Краснодарский Компрессорный завод» **12.** Патент 2659264 C1 Российская Федерация, МПК В01D 53/00. Азотная компрессорная станция (варианты): № 2020133208: заявл. 07.06.2017: опубл. 29.06.2018/ Ворошилов И.В., Мальцев Г.И.; заявитель и патентообладатель общество с ограниченной "Тегас" **13.** Патент 101323 Российская Федерация. Станция компрессорная азотная: №2020133208: заявл. 26.08.2015: опубл. 10.01.2017/ Ворошилов И.В., Кошаков А.Ю.; заявитель и патентообладатель общество с ограниченной ответственностью "Тегас" **14.** Патент 2659264 C1 Российская Федерация, МПК В01D 53/00. Азотная компрессорная станция (варианты): №2020133208: заявл. 07.06.2017: опубл. 29.06.2018/ Ворошилов И.В., Мальцев Г.И.; заявитель и патентообладатель общество с ограниченной ответственностью "Тегас" **15.** Патент 102768 Российская Федерация Передвижная станция компрессорная азотная: №2014503029: заявл. 05.08.2014: опубл. 27.03.2017/ Ворошилов И.В.; заявитель и патентообладатель общество с ограниченной ответственностью "Тегас" **16.** Патент 103071 Российская Федерация. Передвижная станция компрессорная азотная: №2014502998: заявл. 01.08.2014: опубл. 18.04.2017/ Ворошилов И.В.; заявитель и патентообладатель общество с ограниченной ответственностью "Тегас" **17.** Патент 101323 Российская Федерация. Станция компрессорная азотная: №2020133208: заявл. 26.08.2015: опубл. 10.01.2017/ Кошаков А.Ю., Ворошилов И.В., заявитель и патентообладатель общество с ограниченной ответственностью "Тегас" **18.** Патент 102768 Российская Федерация. Передвижная станция компрессорная азотная: №2020133208: заявл. 05.08.2014: опубл. 27.03.2017/ Ворошилов И.В., Мальцев Г.И.; заявитель и патентообладатель общество с ограниченной ответственностью "Тегас" **19.** Патент 103071 Российская Федерация. Передвижная станция компрессорная азотная: №2014502998: заявл. 01.08.2014: опубл. 18.04.2017/ Ворошилов И.В., Мальцев Г.И.; заявитель и патентообладатель общество с

ограниченной "Тегас" **20**. Патент 161848 U1 Российская Федерация, МПК F04B 41/00. Азотная компрессорная станция сда-50/25: №2015147943/06: заявл. 06.11.2015: опубл. 10.05.2016/ Ворошилов И.В.; заявитель и патентообладатель общество с ограниченной ответственностью "Тегас" **21**. Патент 2539409 C1 Российская Федерация, МПК F04B 41/00. Азотная компрессорная станция: №2013129216/06: заявл. 25.06.2013: опубл. 20.01.2015/ Ворошилов И.В.; заявитель и патентообладатель общество с ограниченной ответственностью "Краснодарский Компрессорный завод" **22**. Патент 2549654 C2 Российская Федерация, МПК E21B 43/00, F04B 41/00. Азотная компрессорная станция для повышения нефтеотдачи пластов (варианты): №2012152183/03: заявл. 04.12.2012: опубл. 27.04.2015/ Мальцев Г.И., Ворошилов И.В.; заявитель и патентообладатель общество с ограниченной ответственностью "Краснодарский Компрессорный завод" **23**. Патент 150914 U1 Российская Федерация, МПК F25J 3/00, F04B 41/00. Передвижной азотный компрессорный комплекс: №2014120954/06: заявл. 23.05.2014: опубл. 10.03.2015/ Ворошилов И.В., Юрьев А.В.; заявитель и патентообладатель общество с ограниченной ответственностью "Краснодарский Компрессорный завод" **24**. Компрессорная техника ККЗ для освоения месторождений нефти и газа на арктическом морском шельфе / И. В. Ворошилов, А. В. Мельник, П. Б. Шулекин // Нефть. Газ. Новации. – 2021. – № 10(251). – С. 53-57. **25**. Анализ рабочих процессов и оценка уровня механического КПД поршневых компрессоров с линейным приводом для систем газоснабжения и жизнеобеспечения объектов вооружения / И. В. Ворошилов, А.В. Казимиров А.В., Ю.И. Молодова [и др.] // Труды военно-космической академии имени А.Ф. Можайского. – 2019. – № 671. – С. 259-279. **26**. Применение азотных компрессорных станций промышленной группы «Тегас» в операциях по повышению нефтеотдачи пластов / И.В. Ворошилов, Д.В. Владыкин // Бурение и нефть. – 2010. – № 10. – С. 58-59.

НОРМАЛЬНО-НАПРАВЛЕННОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ В ШИРОКОМ ДИАПАЗОНЕ ТЕМПЕРАТУР, ВКЛЮЧАЯ ФАЗОВЫЙ ПЕРЕХОД ТВЕРДОЕ ТЕЛО – ЖИДКОСТЬ

Косенков Д.В., Косенкова Н.Ю., Сагадеев В.В.

(ФГБОУ ВО КНИТУ, Казань, Россия, E-mail: dmi-kosenkov@yandex.ru)

Abstract: *Measurements of the normal integral emissivity of structural materials: titanium, zirconium and hafnium were carried out by absolute radiation method. The measurements were carried out in a wide temperature range, including the solid–liquid phase transition. The results of the experiment were compared with the data of other authors.*

Надежные измерения излучательных свойств высокотемпературных металлов необходимы, поскольку это имеет фундаментальное значение для понимания природы теплофизических свойств [1, 2].

Отсутствие более или менее определенных теоретических подходов к основным закономерностям поведения излучательной способности металлов, делает совершенно необходимым осуществление широкой программы экспериментальных исследований. Основными задачами экспериментального изучения излучательной способности высокотемпературных твердых и жидких металлов при этом являются:

1. Выяснение закономерностей изменения излучательной способности металлов при плавлении.
2. Изучение характера температурной зависимости излучательной способности жидких металлов в широком диапазоне температур.
3. Сопоставление излучательной способности металлов с теплопроводностью и электропроводностью.

Решение комплекса этих задач предполагает получение сведений о скачке излучательной способности при плавлении, позволяющем качественно и количественно судить о том, насколько радикальным является изменение характера передачи тепла при переходе от твердой фазы к жидкой. Сопоставление скачков излучательной способности, теплопроводности и электропроводности металлов позволяет оценить степень сохранения механизма параллельности переноса тепла и электричества [3]. Концентрация электронов при плавлении у большинства металлов уменьшается приблизительно в два раза. Число свободных электронов, приходящихся на атом в жидком металле, равно числу валентных электронов за исключением полуметаллов (висмут, сурьма, теллур и т.д.).

Изучение природы и свойств металла составляет важную главу современной теплофизики. Электронная теория металлов в настоящее время пока еще не в состоянии дать удовлетворительного количественного описания теплового излучения [1, 2, 4]. В связи с этим большое значение должно быть уделено экспериментальному изучению излучательной способности металлов, в том числе тугоплавких металлов при высоких температурах.

В последнее время уникальные физико-химические и теплофизические свойства ряда металлов IV группы (титан, цирконий, гафний) периодической системы нашли широкое применение при проектировании, производстве и эксплуатации элементов оборудования атомных электростанций и космического ракетостроения. Одним из важнейших эксплуатационных параметров этих тепло- и высоконагруженных металлов является передача тепла посредством излучения.

Технический титан находит широкое применение в самых разнообразных производствах и установках. Высокая жаростойкость, отсутствие коррозии и

механическая прочность определяют большую ширину области применения титана. Подробная информация по свойствам технического титана и сплавов на его основе дана в [5].

Особый интерес производства реакторостроения представляют собой цирконий и гафний. Цирконий имеет низкую поглощающую способность нейтронов, что в комплексе с высокими значениями коррозионной стойкости, хороших физико-механических свойств обработки и повышенной прочности при эксплуатационных температурах делает цирконий незаменимым материалом активной зоны энергетических реакторов [6].

Металлическому гафнию, в отличие от циркония, присуща высокая поглощающая способность нейтронов, из-за чего он применяется в качестве поглощающего материала систем управления и защиты реакторов от нейтронной нагрузки на корпус энергетической установки [7].

Настоящие измерения проводились в атмосфере специально подготовленного инертного газа - аргона. Нормальная интегральная излучательная способность выше перечисленных металлов исследовалась на установке, конструкция которой подробно изложена авторами в [8]. Конструкция измерительной ячейки также подробно изложена авторами в [9].

По результатам проведенных измерений по металлическому титану был сделан вывод, что температурные зависимости нормальной интегральной излучательной способности (см. рис. 1) имеют хорошее согласие с литературными данными [1, 10 - 12] в пределах погрешности эксперимента $5 \div 8 \%$.

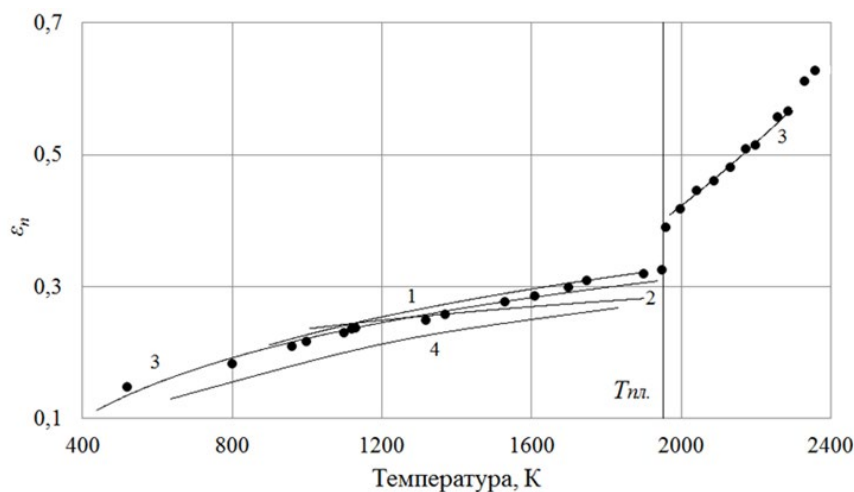


Рис. 1. Зависимость ϵ_n титана от температуры в твердой и жидкой фазах:
 линия 1 – [1]; линии 2 – [11]; линия 3 – [12]; линия 4 – [10];
 ● – измерения автора; $T_{пл.} = 1943$ К

Титан – как элемент четвертой группы показывает уверенный рост излучательной способности от температуры с характерным скачкообразным переходом при твердой фазе в жидкую фазу. Рост нормальной интегральной излучательной способности титана составляет порядка 27 % от твердой фазы и полностью зависит от характера разупорядочивания кристаллической решетки этого металла [13].

При исследовании металлического циркония получена температурная зависимость излучательной способности циркония на экспериментальном стенде (см. рис. 2).

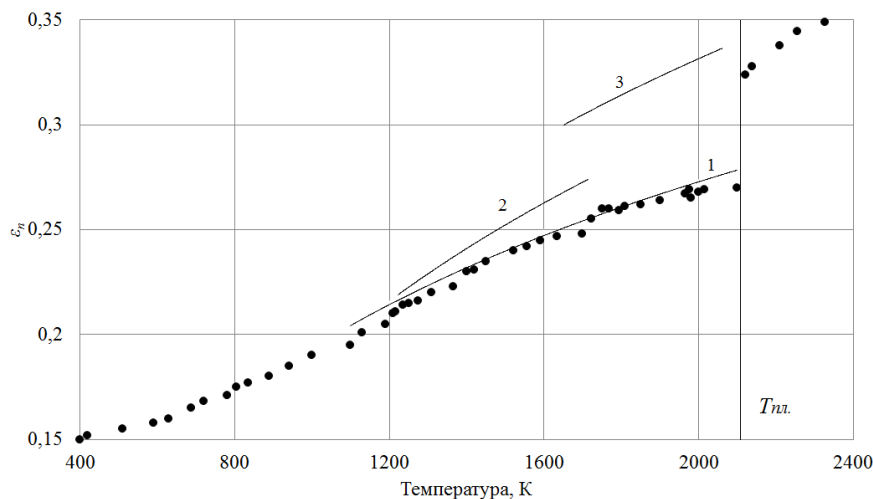


Рис. 2. Зависимость ε_n циркония от температуры в твердой и жидкой фазах: линия 1 – [1]; линии 2 – [10]; линия 3 – [14]; ● – измерения автора; $T_{пл.} = 2125$ К

Литературные значения нормальной интегральной излучательной способности циркония хорошо сопоставляются только лишь в твердой фазе. Данные по литературе [14], являются завышенными, что может быть связано с химической чистотой исследуемого металла.

Поведение излучательной способности циркония соответствует разрыву металлических связей при плавлении и описывается конфигурацией атомов кристаллической решётки [13]. Был зафиксирован скачок изменения излучательной способности циркония на 20 % при фазовом переходе твердое тело - жидкость.

Металлический гафний исследовался как в твердой полированной фазе, так и в жидкой, в атмосфере аргона до предельных температур опыта. Получено хорошее согласие с имеющимися литературными данными [5, 39, 43, 44] (см. рис. 3).

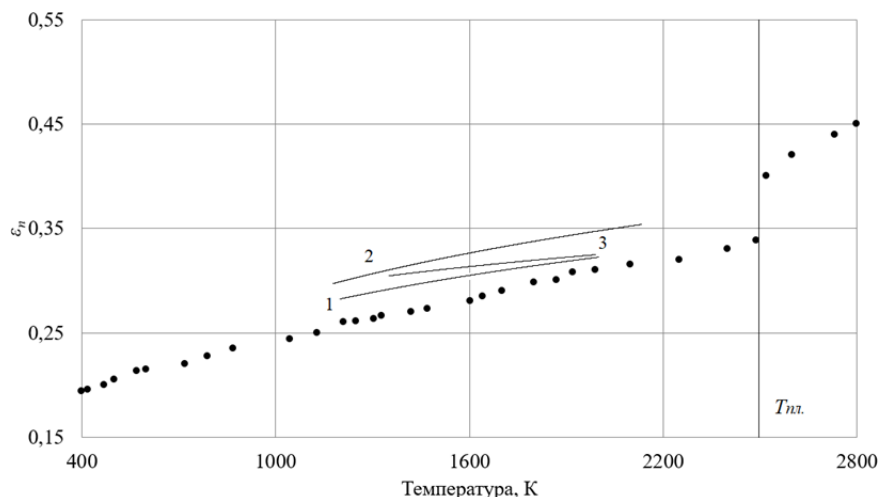


Рис. 3. Зависимость ε_n гафния от температуры в твердой и жидкой фазах: линия 1 – [1]; линии 2 – [15]; линия 3 – [10]; ● – измерения автора; $T_{пл.} = 2506$ К

Зафиксирован скачок изменения излучательной способности гафния на 18 % при фазовом переходе в жидкое состояние.

ВЫВОДЫ

В проведенном экспериментальном исследовании прослеживается последовательность положительного изменения излучательной способности с ростом температуры, характерное для металлов четвертой группы периодики. Выявленное увеличение металлизации свойств рассмотренных элементов соответствует их расположению в периодической системе Д.И. Менделеева.

Список литературы: 1. Излучательные свойства твердых материалов: Справочник / Под общ. ред. чл.-кор. АН СССР А.Е. Шейндлина /. М: Изд-во «Энергия», 1974. 471 с. 2. Свет, Д.Я. Оптические методы измерения истинных температур / Д.Я. Свет /. М.: Изд-во «Наука», 1982. 296 с. 3. Hüpf, T. Thermophysical properties of 22 pure metals in the solid and liquid state/ Hüpf, T., Cagran, C., & Pottlacher, G. / T. Hüpf, C. Cagran, G. Pottlacher // The pulse-heating data collection. EPJ Web of Conferences. 2011. Vol. 15. 01018. 4. Fisenko, A.I. Thermal radiative and thermodynamic properties of solid and liquid uranium and plutonium carbides in the visible–near-infrared range / A.I. Fisenko, V.F. Lemberg // Journal of Materials Science. 2016. Vol. 51. No. 18. pp. 8737 – 8746. 5. Donchev, A. Corrosion Books: Titanium. By: Gerd Lütjering, James C. Williams / A. Donchev, H.E. Zschau // Materials and Corrosion. 2004. Vol. 55. No. 7. pp. 556 – 556. 6. Ажажа, В.М. Цирконий и его сплавы: технологии производства, области применения / В.М. Ажажов, П.Н. Вьюгин и др. / Харьков: ННЦХФТИ, 1998. 89 с. 7. Афанасьев, А.А. Гафний - перспективный поглотитель для пэлов СУЗ реакторов ВВЭР-1000 АЭС Украины / А.А. Афанасьев, Ю.Ф. Конотоп, Н.П. Одейчук // Вопросы атомной науки и техники. 2000. № 4. С. 80 - 84. 8. Косенков, Д.В. Степень черноты ряда металлов VIII группы периодической системы / Д.В. Косенков, В.В. Сагадеев, В.А. Аляев // Теплофизика и аэромеханика. 2021. Т. 28. в. 6. С. 951-956. 9. Косенков, Д.В. Результаты измерения относительной излучательной способности ряда металлов подгруппы меди при температурах перехода через точку плавления / Д.В. Косенков, В.В. Сагадеев // Журнал технической физики. 2021. Т.91. в. 12. С. 1909 – 1911. 10. Touloukian, Y.S. Thermophysical properties of matter-the tprc data series. Vol. 7. Thermal radiative properties - metallic elements and alloys / Y.S. Touloukian, D.P. DeWitt /. New York: Springer Science, 1970. 1594 p. 11. Шур, Б.А. Излучательная способность иодидного и технического титана в диапазоне температур 1100 – 1900 К / Б.А. Шур, В.Э. Пелецкий // ТВТ. 1981. Т. 19. в. 6. С. 1172 – 1177. 12. Панфилович, К.Б. Изменения радиационных характеристик веществ при фазовых переходах / К.Б. Панфилович, П.И. Бударин и др. // ИФЖ. 1995. Т.68. в. 2. С. 271 – 275. 13. Григорович, В. К. Металлическая связь и структура металлов / В.К. Григорович; Отв. ред. К. П. Гуров; АН СССР, Ин-т металлургии им. А. А. Байкова. – М.: Наука, 1988. 294 с. 14. Cezairliyan, A. Simultaneous Measurements of Heat Capacity, Electrical Resistivity and Hemispherical Total Emittance by a Pulse Heating Technique: Zirconium, 1500 to 2100 K / A. Cezairliyan, F. Righini // Bureau Standards. A. Phys. Chem. 1974. Vol. 78. No.4. pp. 509 - 514. 15. Milošević, N.D. Thermophysical Properties of Solid Phase Hafnium at High Temperatures / N.D. Milošević, K.D. Maglić // Int J Thermophys. 2006. Vol. 27. No. 2. pp. 530 - 553.

О НЕОБХОДИМОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК СУДОВОГО ВАЛОПРОВОДА

Костенко А.В., Солодилов И.А.

(КамчатГТУ, г. Петропавловск-Камчатский, Россия)

Тел.: +7 984 163 74 36; E-mail: andr13kost@list.ru

***Abstract:** The need to control the dynamic characteristics of the ship's shafting is substantiated*

***Keywords:** ship shafting, operating modes, torsional vibrations, resonance.*

Надежность валопровода влияет не только на надежность СЭУ, но и судна в целом. Потеря работоспособности валопровода повлияет отрицательно на ходовые качества судна и может привести к потере хода судна. Восстановление работоспособности валопровода связана с простоями судна, а значит с убытками, если речь идет о рыболовном судне. Решение проблем, связанных с диагностикой, ремонтом, монтажом и проектированием валопроводов является актуальной задачей. При этом актуальной является задача определения динамических характеристик валопровода гребных винтов.

Валопровод работает под воздействием различных нагрузок: кручения, изгиба, вибраций; крутильных, продольных, поперечных и осевых колебаний.

Валопровод представляет собой систему валов, соединенных в одну линию. В состав входят гребной вал, соединенный с гребным двигателем (гребным винтом), упорный вал, через который осевое усилие передается на корпус судна, промежуточные валы и подшипники.

Крутильные колебания оказывают значительное влияние на надежность и работоспособность элементов валопровода. Исследование таких колебаний является научной прикладной задачей, важность решения которой подтверждается Регистром. В 8 разделе части VII «Правила классификации и постройки морских судов» изложены требования к расчету крутильных колебаний [1].

Особенность появления крутильных колебаний связана с тем, что они неизбежно появляются при эксплуатации валопровода вследствие работы ПУ и будут иметь место даже при идеальной балансировке валов и элементов валопровода и при идеальном их монтаже, поскольку связаны с особенностями организации рабочего цикла ПУ.

Наиболее опасным явлением при вынужденных колебаниях является высокая вероятность возникновения резонанса – когда вынужденные колебания совпадают со свободными колебаниями системы. Эксплуатационные нагрузки на валопровод зависят от режимов и условий его работы. Режим работы валопровода определяется режимами работы ПУ и гребного винта.

Гребной винт работает при таких режимах: швартовный режим, основной режим переднего хода режим нулевого упора, режим нулевого момента. На каждом режиме действуют специфичные нагрузки, также влияющие на работу валопровода.

Статическая нагрузка на валопровод соответствует среднему крутящему моменту и создается на установившихся режимах работы. А динамическая нагрузка создается на неустановившихся режимах или аварийных. Сложность учета динамических нагрузок связана с множеством факторов, которые нужно учитывать и необходимостью создания математической модели.

Исследование динамики крутильных колебаний валопроводов предполагает использование математических моделей, которые с обоснованными упрощениями позволяют заменить реальную схему валопровода на расчетную [2].

При износе в процессе эксплуатации, а также после выполнения ремонтных работ требуется статическая и динамическая балансировка гребного винта. Данная операция является трудоёмкой и требующей специального дорогостоящего оборудования, что предопределяет проблему динамической балансировки в условиях судоремонтных предприятий. Например, на судоремонтных предприятиях Камчатского края отсутствуют стенды для динамической балансировки и разработка системы контроля динамических характеристик валопровода и гребных винтов, включающей соответствующее оборудование и методику балансировки винтов на основе активного мониторинга амплитудно-частотных характеристик валопровода, позволит выполнять балансировочные работы в собранном состоянии дейдвудного устройства без использования специального оборудования, используемого при судостроении.

Валопровод является одним из особенно ответственных узлов судна, подвергающегося среди прочего негативным воздействиям крутильных колебаний, в том числе резонансных явлений. На основе полученных при моделировании работы валопровода результатов и с учетом проведения экспериментальных измерений есть возможность разработки интеллектуальной системы контроля динамических характеристик валопровода, которую возможно будет использовать для балансировки валов в условиях судоремонтных заводов.

Список литературы. 1. Правила классификации и постройки морских судов. Часть VII. Механические установки. НД № 2-020101-152. – Санкт-Петербург:Российский морской регистр судоходства, 2022. – 119 с. **2.** Царенко С.Н. Динамика валопровода гребного винта при линейном режиме разгона / С.Н. Царенко, А.А. Молчан, А.А. Мхоян // Техническая эксплуатация водного транспорта: проблемы и пути развития : материалы Четвертой международной научно-технической конференции (25-26 ноября 2021 г.) / отв. за вып. О.А.Белов. – Петропавловск-Камчатский : КамчатГТУ, 2022. – С. 122-126.

АВТОМАТИЗАЦИЯ И ПРОВЕДЕНИЕ ОПТИМИЗАЦИОННЫХ РАСЧЕТОВ ОБОРУДОВАНИЯ АЭС НА БАЗЕ ПЛАТФОРМЫ ДЛЯ АНАЛИЗА ДАННЫХ

Кругликов П.А., Сухоруков Ю.Г., Попов А.В., Кулаков Е.Н.

(ОАО «Научно-производственное объединение по исследованию и проектированию энергетического оборудования им И.И. Ползунова» (НПО ЦКТИ), Санкт-Петербург, Россия)

Тел./Факс: +7 (921) 5720039; E-mail: pak47@mal.ru

Abstract: *The article demonstrates an approach for automating similar engineering calculations and solving optimization problems. Approbation was carried out on the example of setting up an automatic temperature control system behind the heat exchanger, which made in the SimInTech software.*

Key words: *optimization, NPP, dynamic model, transient process, regulation.*

При проектировании сложного технического объекта, которым является АЭС, часто требуется создание динамической модели, имитирующей работу реального оборудования. Это позволяет получить информацию о свойствах исследуемого объекта и процессах, проходящих в нем. При этом разработка системы автоматического управления технологическими процессами играет важную роль при создании динамической модели, внося в нее корректирующие воздействия. На действующих объектах неправильно выбранные настройки систем регулирования могут приводить к излишней колебательности параметров оборудования и большим отклонениям их от заданной величины, что влияет как на ресурс отдельных элементов энергетических установок, так и на возникновение нарушений нормальных условий эксплуатации.

В реальных условиях система автоматического регулирования подвергается нарушению установившегося режима под влиянием внешних факторов, которые вносят возмущающие воздействия. В свою очередь регулятор получает сигнал от датчика о состоянии регулируемой величины и стремится привести значение регулируемой величины к заданной. В виду наличия инерционности системы переход осуществляется не мгновенно, а спустя некоторое время. Таким образом в системе регулирования возникает переходный процесс.

Сами критерии качества регулирования могут включать в себя следующие условия (но не ограничиваться ими):

- необходимость компенсации возмущений;
- ограничение величины установившейся ошибки;
- желаемый вид переходного процесса;
- ограничение по чувствительности к изменению регулируемой величины.

Оптимальным качеством регулирования является наиболее близко отвечающее поставленным требованиям поведение регулируемой величины при возникновении возмущений, выводящих объект регулирования из равновесного состояния. Пути для достижения оптимального качества регулирования – это рациональный выбор закона регулирования, оптимальное размещение измерительных преобразователей и регулирующего органа, характеристики регулирующего органа, правильный выбор статистических и динамических настроек регулирующего устройства с учетом особенностей характеристик объекта регулирования.

Регулятор в составе системы автоматического регулирования (САР) может иметь различные настройки. При этом при одних настройках система будет управлять объектом регулирования в соответствии с технологическими требованиями, а при других возникнет неустойчивое состояние. Таким образом стоит задача, во-первых, подобрать такие коэффициенты для данной задачи, которые позволят поддерживать величину регулируемого параметра на заданном уровне, а во-вторых, выбрать из них оптимальные, обеспечивающие экстремум целевой функции при выполнении определенных ограничений.

В рамках данной работы создан демонстративный пример (рис. 1), включающий в себя динамическую модель кожухотрубного теплообменного аппарата, в котором регулирование температуры на выходе из него осуществляется путем дросселирования греющего пара. Регулятор температуры, исследуемый в данной работе, выполнен по схеме регулирующего блока Р-27, активно используемого в промышленности. Структурная схема регулятора представлена на рис. 2. При проведении оптимизационного расчета за варьируемые параметры регулятора принимались коэффициент передачи регулятора K_p и постоянная времени фильтра обратной связи T_i .

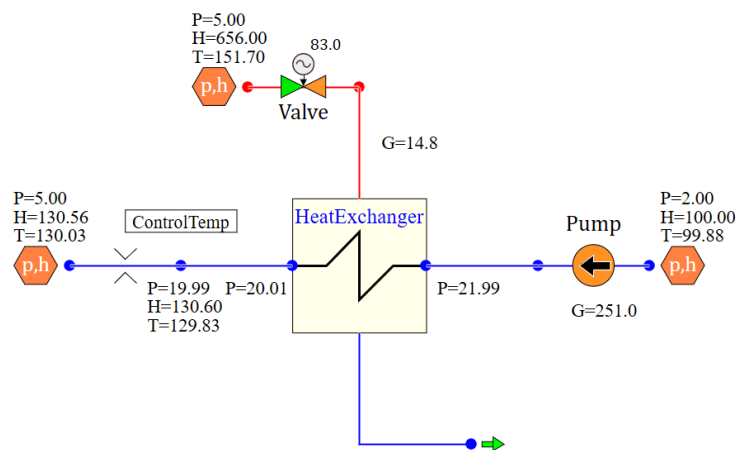


Рис. 1. Реализация расчетной модели объекта регулирования

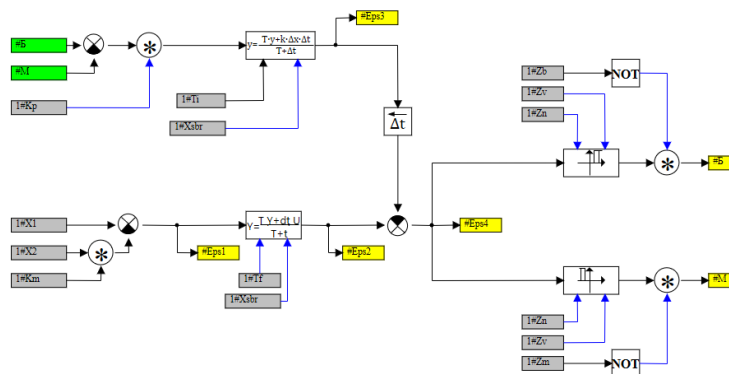


Рис. 2. Структурная схема регулятора

Для разработки динамической модели использовался программный комплекс SimInTech с интегрированным теплогидравлическим кодом ТРР [1-5], используемый для моделирования динамики переходных процессов в системе сложных теплогидравлических контуров произвольной конфигурации (№2379 в Едином реестре российских программ). Основной особенностью кода ТРР является высокая гибкость расчетной схемы, которая полностью конфигурируется с помощью исходных данных и

не привязана к какому-либо конкретному оборудованию. Это дает возможность представлять оборудование схемы с различной степенью детализации.

Для решения задачи по оптимизации использовался программный комплекс pSeven™, который является платформой для анализа данных, оптимизации и создания аппроксимационных моделей, дополняющей средства проектирования и инженерного анализа. pSeven позволяет интегрировать в единой программной среде различные инженерные приложения, алгоритмы многодисциплинарной оптимизации и инструменты анализа данных для упрощения принятия инженерных решений (№5707 в Едином реестре российских программ). Структура интеграции ПО pSeven и ПО SimInTech представлена на рисунке рис. 3.



Рис. 3. Структура интеграции расчетной модели и платформы оптимизации

Для оценки качества регулирования (КР) были выбраны следующие интегральные критерии:

– *суммарное рассогласование (J)* – интеграл по времени отклонения фактического и заданного значения (уставки) регулируемого параметра с учетом зоны нечувствительности регулятора, подразумевающий площадь под кривой и отображающий затраты на ликвидацию возмущения

$$J = \int_0^t |\varepsilon(t)| dt, \quad (1)$$

где $\varepsilon(t)$ – величина рассогласования регулируемого параметра, когда он находится вне зоны нечувствительности регулятора;

– *время хода клапана (t_x)* – интеграл по времени, когда РК изменяет свое положение. Параметр оценивает колебательность переходного процесса, который будет нестабильным, но при этом оптимальным с точки зрения накопленного рассогласования при высокочастотных колебаниях регулируемого параметра в пределах границы зоны нечувствительности

$$t_x = \int_0^t (X_6 + X_M) dt, \quad (2)$$

где X_6 – замыкание контакта реле на открытие органа регулирования, X_M – замыкание контакта реле на закрытие органа регулирования.

Поскольку, как правило, оптимум по суммарному рассогласованию не совпадает с оптимумом по времени хода клапана, за общий критерий оптимизации взята следующая относительная величина

$$X = \frac{J}{J_{min}} + \frac{t_x}{t_{x min}}, \quad (3)$$

где J_{min} – минимальное значение величины J для всех итераций расчета, $t_{x min}$ – минимальное значение величины t_x для всех итераций расчета.

В качестве возмущающего воздействия на модель было выбрано ступенчатое изменение уставки регулятора со 130 до 120 °С. Поиск оптимальных настроек осуществлялся двумя способами: методом перебора по сетке и методом Surrogate-Based Optimization [6-7].

В результате анализа результатов расчета методом перебора по сетке были получены линии уровня целевых функций J (рис. 4а) и t_x (рис. 4б). Черными точками выделен массив точек расчета по ограничению критерию $X < 3$. За оптимум взяты настройки регулятора $K_p=30$, $Ti=22$, где значение X минимально (красная точка).

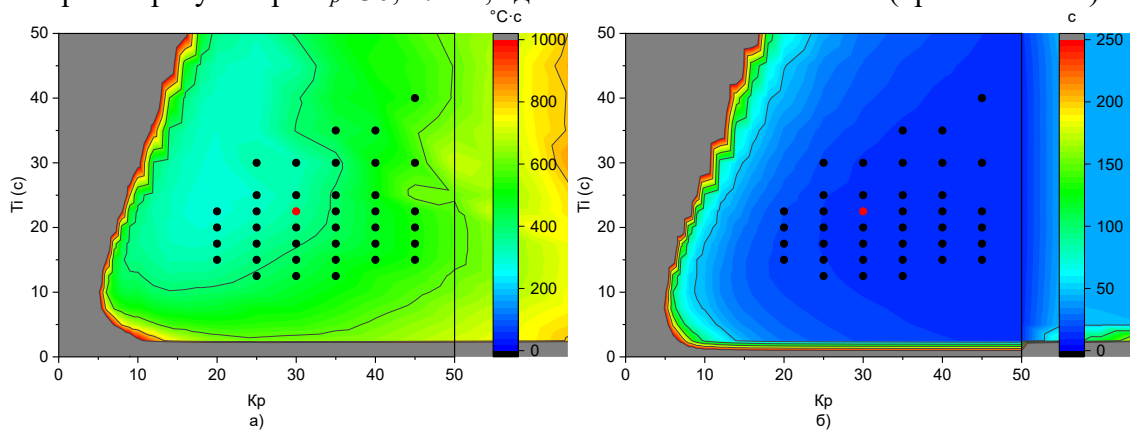


Рис. 4. Линии уровня целевой функции J (а) и t_x (б)

Вторым способом поиска оптимальных настроек выбран метод SBO, реализующий «умный» перебор, позволяющий сконцентрировать расчеты в области оптимума, уменьшив таким образом количество расчетов. Оптимизация выполнялась путем совместной минимизации целевых функций J и t_x , значения от итерации расчета представлены на рис. 5, после стартовой выборки расчет производится преимущественно в области предполагаемого минимума. На рис. 6 наглядно показано преимущество метода SBO при многокритериальной оптимизации, выборка точек расчета сконцентрирована в области минимальных значений X . Оптимальным настройкам регулятора при нахождении методом SBO соответствуют $K_p=33$, $Ti=27$, что фактически соответствует ранее найденным настройкам регулятора методом перебора по сетке.

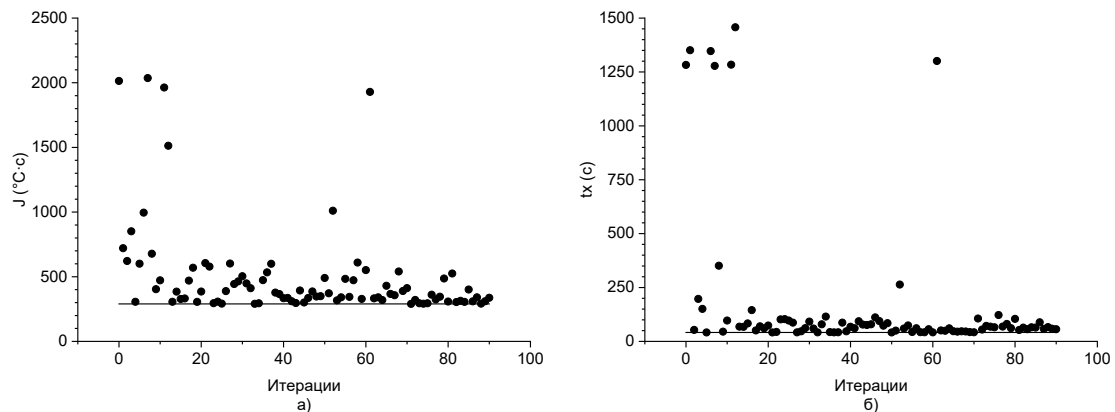


Рис. 5. Значение целевой функции J (а) и t_x (б) от итерации расчета

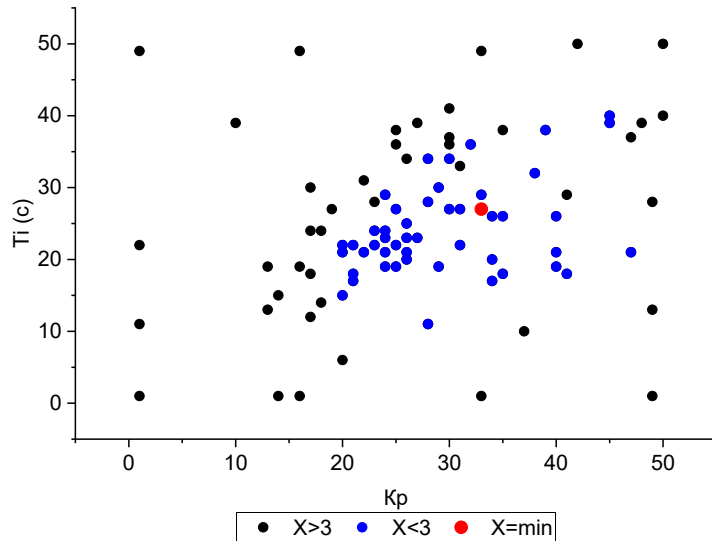


Рис. 6. Выборка точек при совместной оптимизации с J и t_x методом SBO

С целью апробации полученных настроек так же был рассмотрен режим с изменением расхода воды через теплообменный аппарат. Для полученных настроек методом перебора по сетке и методом SBO переходной процесс для регулируемой величины и положения штока клапана при изменении уставки регулятора и изменении расхода подогреваемой воды показан на рис. 7, вид переходного процесса фактически совпадает. Полученные переходные процессы регулируемой величины удовлетворяет как с точки зрения устойчивости, так и вида переходного процесса. Сравнение результатов оптимизационного расчета выбранными методами показано в табл. 1. Оптимальные настройки, как и значения критериев качества регулирования, практически не отличаются, однако метод SBO затратил примерно в 6 раза меньше расчетов.

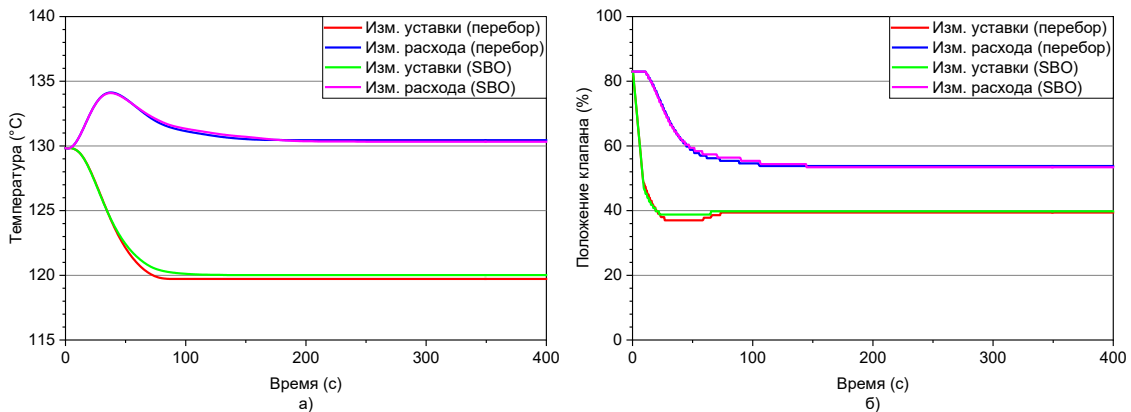


Рис. 7. Переходной процесс регулируемого параметра (а) и положения штока клапана (б) в исследуемой модели

Табл. 1 Сравнение результатов расчета методом перебора по сетке и методом SBO

Метод расчета	Количество итераций	Оптимальные настройки		$J_{min}, ^\circ\text{C}\cdot\text{c}$	$t_{x\ min}, \text{c}$	X_{min}
		K_p	T_i			
Перебор по сетке	532	30	22	290,6	41,0	2,36
SBO	91	33	27	289,5	41,6	2,35

Заключение

На примере настройки системы автоматического регулирования показаны возможности интеграции в единой среде платформы автоматизации и анализа данных и внешних программных продуктов в единую расчетную модель. Данный подход позволяет как автоматически проводить большое количество однотипных инженерных расчетов, так и использовать встроенные алгоритмы для нахождения оптимума.

Так же необходимо сказать, что за счет интеграции модели и платформы для автоматизации расчетов и анализа данных возможно не только находить оптимальные параметры систем автоматического регулирования, рассмотренных в рамках данной статьи/доклада, но и оптимизировать теплогидравлические характеристики схем и оборудования ТЭС и АЭС.

Список литературы: 1. Баум Ф.И., Козлов О.С., Паршиков И.А., Петухов В.Н., Тимофеев К.А., Щекатуров А.М. Программное обеспечение SimInTech для программирования приборов систем управления // Атомная энергия. 2006. Т. 113. №6. С. 354-357. 2. Козлов О.С., Кондаков Д.Е., Скворцов Л.М. и др. Программный комплекс для исследования динамики и проектирования технических систем // Информационные технологии. 2005. № 9. С. 20-25. 3. Паршиков И.А., Петухов В.Н., Тимофеев К.А., Щекатуров А.М., Боровицкий С.А., Шмаков Д.Ю. Разработка и применение комплексной динамической модели реакторной установки СВБР-100 для проектирования опытно-промышленного блока // Вопросы атомной науки и техники. Серия: ядерно-реакторные константы. 2015. № 3. С.5–29. 4. Кавун О.Ю., Исполатов Д.Н., Куно М.Я., Фейман В.Г. Расширение возможностей теплогидравлического программного комплекса для моделирования процессов, происходящих в оборудовании АЭС // Теплоэнергетика. 2005. № 1. С. 34-40. 5. Кавун О.Ю., Ходаковский В.В. Моделирование динамики энергоблока АЭС на многопроцессорных ЭВМ // Теплоэнергетика. 2005. №1. С. 29-33. 6. Zaytsev A., Burnaev E. Large scale variable fidelity surrogate modeling // Annals of mathematics and artificial intelligence. 2017. Т. 81. № 1-2. С. 167-186. 7. Бурнаев Е.В. и др. Сравнительный анализ процедур оптимизации на основе гауссовских процессов // Информационные технологии и системы – 2012. 35-я конференция молодых ученых и специалистов 19-25 августа, Петрозаводск, Россия.

ОСОБЕННОСТИ МЕХАНИЗМА ХОДА КАРЬЕРНОГО ЭКСКАВАТОРА

Лагунова Ю.А. (ФГБОУ УГГУ, ФГАОУ ВО УрФУ, г. Екатеринбург, Россия)

Макарова В.В. (ФГАОУ ВО УрФУ, г. Екатеринбург, Россия)

Тел. +79122672356; E-mail: yu.lagunova@mail.ru

Abstract: The main features of choosing the type of undercarriage for mining excavators are considered. The main advantages and disadvantages of caterpillars are given, the classification of caterpillar equipment is given and the design of the undercarriage is shown. The main malfunctions of the elements of caterpillar undercarriage are analyzed.

Keywords: mining excavator, undercarriage, caterpillar.

Ходовое оборудование предназначено для передачи на грунт, дорожное покрытие или рельсы нагрузки от машин и внешних нагрузок, действующих при работе, а также для ее передвижения с объекта на объект в пределах рабочей зоны. Ходовое оборудование состоит из металлоконструкций нижней рамы и ходового механизма, гусеничных рам и гусеничного движителя или осей и колес, или лыж шагающего хода.

В отличие от других машин, ходовое оборудование экскаватора обладает некоторыми особенностями, которые зависят от назначения и условий работы.

К этим особенностям относятся: 1) наличие значительных по отношению к весу машины нагрузок от эксцентрично расположенных вертикальной составляющей реакции грунта и веса рабочего оборудования с грунтом; 2) небольшая скорость хода и большой вес машины; 3) Отсутствие внешних тяговых усилий от прицепного полуприцепного оборудования и более низкие требования к степени сцепления с грунтом; 4) вспомогательное назначение ходового оборудования, в отличие от основного у других машин (время работы ходового оборудования большинства типов экскаваторов не превышает 10-12 % его рабочего времени) [1].

Поэтому расчеты внешних нагрузок, давление на грунт, эксплуатационная надежность, легкость управления и тяговые расчеты при движении машины по бездорожью в условиях глубокого приседания в грунт являются основными вопросами при выборе типа ходового оборудования карьерного экскаватора.

На карьерных экскаваторах наиболее широкое распространение имеет гусеничный ход. К достоинствам гусеничного хода относятся: высокая устойчивость машины при работе и передвижках, более равномерное распределение давления опорной поверхности на грунт, отсутствие необходимости в подготовке пути и возможность свободного маневрирования, способность преодолевать большие уклоны (до 23°), высокие тягово-сцепные качества и возможность использования на различных почвах, возможность воспринимать значительные нагрузки при сравнительно низком давлении на грунт,

Недостатки гусеничного хода – большой вес и высокая стоимость приобретения, сложность конструкции в производстве и сборке, продавливание слабого грунта и грунта средней крепости при многократных проходах и образование глубоких борозд, проседание гусениц в грунте при движении по кривой, большая материалоемкость, недолговечность и высокая стоимость ремонтов, низкие КПД и скорости движения, высокий уровень вибрации при движении на твердых поверхностях, сложность конструкции и быстрый износ ходовых элементов.

Гусеничное оборудование классифицирует по следующим признакам [2]:

- по системе опирания машины на гусеницы – статически определяемая и статически неопределяемая система;
- по числу гусениц – двухгусеничное и многогусеничное;
- по типу гусениц.

В гусеничном оборудовании различают систему гусениц, определяемую в основном расположением и количеством гусениц и тип гусениц, определяемый их конструктивной схемой, характеризующей соответствующие эксплуатационные и технологические качества гусениц.

По конструкции гусеницы делят на многоопорные (рис. 1. а, в, г) и малоопорные (рис. 1. б), а по приспособляемости к неровностям поверхности передвижения – на жесткие (рис. 1. а, б, в) и мягкие (гибкие) (рис. 1. г) [3].

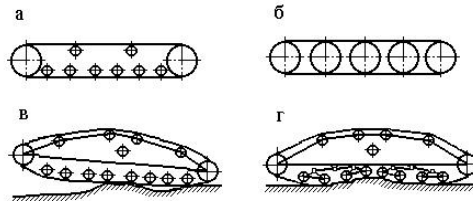


Рис. 1. Типы гусениц: а, в, г – многоопорные; б – малоопорная; а, б, в – жесткие; г – мягкая

Гусеничное ходовое оборудование состоит из движителя и подвески. Гусеничный движитель (рис. 2.) включает гусеничную ленту 3, раму 6, приводное (ведущее) 5 и ведомое (натяжное) 1 колеса, опорные 7 и поддерживающие 2 катки. В некоторых случаях применяют гусеничные движители безрамной конструкции. В этом случае элементы движителя крепят к основной раме машины.

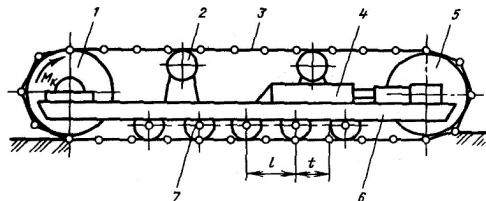


Рис. 2. Многоопорный гусеничный движитель с жесткой подвеской опорных катков

Основные элементы гусеничного хода экскаватора: гусеницы, поддерживающие и опорные катки, ведущие цепи, башмаки и пальцы. Ходовая тележка служит опорной конструкцией для всей вращающейся части экскаватора и состоит из нижней рамы сварной конструкции, механизмов индивидуального привода гусениц, зубчатого венца с роликовым кругом. Ходовая тележка предназначена для повышения устойчивости поворотной платформы и уменьшения трудоемкости технического обслуживания гусеничного хода [4].

К основным показателям технического состояния ходовой оборудования экскаватора относятся: натяжение гусеничных цепей, механические повреждения зубьев, износ траков и пальцев, зазоры в подшипниковых узлах, износ и состояние направляющих колес, опорных и поддерживающих катков, неправильная настройка натяжения гусениц, неправильно подобранная ширина гусениц, трещины на корпусе ходовой тележки; трещины гусеничных рам в районе натяжных окон, трещины на спицах больших опорных колес, износ кулаков ведущих колес, поломка звездочек, деформация катков.

Список литературы: 1. Экскаваторы. Общие вопросы теории, проектирования, исследования и применения. Н.Г. Домбровский. Изд-во «Машиностроение», 1969, 318 стр. 2. Комиссаров А.П., Лагунова Ю.А., Шестаков В.С. Проектирование карьерных экскаваторов. М.: Инновационное машиностроение, - 228 с. (2017). 3. Подэрни Р. Ю. Горные машины и комплексы для открытых работ: Учебник для вузов — 2-е изд., перераб. и доп.— М.:Недра. 1985.-544 с. 4. Строительная техника: [Электронный ресурс]. – URL: <https://st-tehnika.ru/blog/news/hodovaya-ekskavatora-ustrojstvo-i-osobennosti> (дата обращения: 10.06.2023).

УРАЛЬСКИЙ ГОРНЫЙ В РАМКАХ ПРОГРАММЫ «ПРИОРИТЕТ 2030»

Лагунова Ю.А. (ФГБОУ ВО «УГГУ», ФГАОУ ВО «УрФУ», г. Екатеринбург, Россия)
Тел. 8(343) 283-06-71; E-mail: yu.lagunova@mail.ru

Abstract: *The article discusses ways to implement a set of modern tasks so that our engineers meet the advanced technical knowledge and experience in the production of mining equipment. Today, an engineer, in addition to the skills to solve production problems, requires a set of competencies that contribute to the development of knowledge, skills and abilities in the field of analysis and assessment of the market demand for a specific technical and technological product. It is necessary to teach the future engineer to set tasks, develop technical specifications, look for new technical solutions that will be in demand in production.*

Keywords: *engineer, Priority 2030 program, digital department, technopark.*

Президент России В.В. Путин сказал: «Наука, образование, культура, литература, наш великий русский язык создают прочный фундамент, на котором строится по-настоящему сильное государство. Начиная с 2021 года не менее 100 вузов в субъектах Российской Федерации будут получать гранты от 100 миллионов рублей и выше на открытие студенческих технопарков, бизнес-инкубаторов, обновление учебно-лабораторной базы и программ обучения. На такую поддержку смогут претендовать все государственные вузы, в том числе те, где готовят будущих педагогов, врачей, работников сферы транспорта и культуры. Уверен, что молодое поколение россиян, российских ученых в полной мере заявит о себе в новых значимых исследовательских проектах» [1]. «Приоритет 2030» – самая масштабная в истории России программа государственной поддержки университетов. Программа направлена на увеличение вклада российских университетов в достижение национальных целей развития Российской Федерации на период до 2030 года, на сбалансированное пространственное развитие страны, на подготовку высококвалифицированных кадров, повышение привлекательности карьеры в сфере науки и высшего образования, на внедрение результатов отечественных исследований и разработок в экономику и социальную сферу, на обеспечение доступности высшего образования и дополнительного профессионального образования во всех субъектах Российской Федерации, обеспечение возможностей для самореализации и развития талантов [1].

Сегодня от инженера, помимо навыков решения производственных задач, требуется набор компетенций, способствующих развитию знаний, умений и навыков в области анализа и оценки потребности рынка в конкретном технико-технологическом продукте. Необходимо научить будущего инженера ставить задачи, разрабатывать технические задания, искать новые технические решения, которые будут востребованы на производстве.

Для реализации комплекса современных задач необходимо, чтобы наши инженеры соответствовали передовым техническим знаниям и опыту, что можно решить двумя путями.

Первый путь – это модернизация совместно с промышленностью материально-технической и учебно-лабораторной базы вузов, например, создавая учебные аудитории и лаборатории конкретного предприятия. Так, на кафедре горных машин и комплексов УГГУ созданы именные аудитории ПАО «Уралмашзавода», ООО «Вибротехник», АО «БелАЗ». Таким образом, выпускники кафедры, приходя на производство, уже знакомы с технологическими новинками и уровнем развития предприятий, а благодаря этим знаниям они будут готовы к работе, готовы к модернизации и улучшению выпускаемой продукции. Помимо знаний выпускники должны обладать критическим мышлением, то есть умением видеть недостатки и ограничения даже в лучших мировых образцах техники и технологии, видеть способы их улучшения и находить собственные решения для их совершенствования.

Второй путь – это генерация новых идей, которые лежат в основе создания качественно новых изделий. Студент должен иметь возможность заниматься прикладной наукой, из результатов которой могут вырасти новые инновационные проекты и технологии. Инфраструктура, созданная в университете совместно с заинтересованными в выпускниках предприятиями, будет способствовать появлению и развитию новых машин и технологий.

Благодаря последовательной организации такого процесса мы сможем не просто копировать и улучшать зарубежные аналоги, но и совершать новые технологические прорывы, развивая экономику страны и улучшая качество жизни людей. [2].

Деятельность инженера связана с решением разнообразных задач – исследования, проектирование и конструирование, разработка технологий, организация производства, вплоть до «работы руками» на монтаже. «Инженер должен быть отчасти ученым, отчасти конструктором, отчасти администратором, отчасти менеджером, отчасти предпринимателем и отчасти рабочим. На заре индустриальной фазы и далее, вплоть до ее расцвета, инженеры действительно все это умели, чем и объяснялся их высочайший социальный статус» [3].

Решая поставленные задачи в рамках программы «Приоритет 2030» кафедра горных машин и комплексов вошла в состав виртуальной «Цифровой кафедры» по подготовке студентов по программе «Обучение работе в САПР». Что это дает студенту и почему цифровая кафедра необходима в горнодобывающей отрасли? Ответ на эти вопросы раскрывает преимущества цифровой кафедры в нашем вузе и дает оценку перспектив ее развития и развития проекта в целом.

По данным министерства промышленности и торговли, а также министерства энергетики Российской Федерации к 2022 году в нефтедобывающей и горной отрасли в среднем около 70 % различного оборудования – импортное, которое поставлялось преимущественно из стран Европы, США, Японии. С введением жестких санкций со стороны англосаксов и Западной Европы поставки ремкомплектов и запасных частей для этого оборудования резко сократились. Одно из направлений решения этого непростого вопроса – выпуск необходимых запчастей на основе обратного проектирования, что позволит эксплуатировать оборудование, не разрывая существующих технологических цепей. Выполнение обратного проектирования это: определение материала изделия; выполнение замеров конструктивных частей и конструктивных элементов детали; проведение 3D сканирования (при необходимости) детали; анализ твердости и шероховатости поверхностей детали; проверка расчетом несущей способности изделия; моделирование объекта; подготовка модели к производству – генерация и оформление чертежей. Все это в состоянии выполнить студенческое конструкторское бюро кафедры.

Стимулирование НИОКР необходимо вести не только на промышленных предприятиях или в ВУЗах. Для работы по прорывным направлениям необходима иная база, позволяющая развивать активное взаимодействие ВУЗа с промышленными предприятиями, например, создание технопарка в рамках программы «Приоритет 2030».

Создание на базе Уральского государственного горного университета технопарка, деятельность которого будет направлена на подготовку высококвалифицированных специалистов – инженеров различного уровня для реального сектора экономики и обеспечение трансфера результатов исследований и разработанных технологий в горно-металлургическую промышленность, является актуальной задачей не только для региона, но и для горнопромышленной отрасли страны в целом.

Список литературы: 1. Priority2030.ru [Электронный ресурс]. https://minobrnauki.gov.ru/documents/?ELEMENT_ID=68336 2. Профессионализм инженера-конструктора: анализ, оценка и совершенствование: [Монография] / А.П. Исаев и др. – Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2015. – 168 с. 3. Переслегин С.Б., Переслегина Е.Б. Дикие карты Будущего, или Портрет инженера в интерьере. – СПб.: Terra Fantastica; М.: АСТ, 2011, 168 с.

ОПЫТ ПРОВЕДЕНИЯ УЧЕБНЫХ ЗАНЯТИЙ В ДИСТАНЦИОННОЙ ФОРМЕ

Лапаева И.В., Горобец И.А.

(МБОУ «Гуманитарная гимназия №33 г. Донецка»,

ФБОУ ВО «ДонНТУ», г. Донецк, ДНР, РФ)

E-mail: iren.vit@mail.ru

Abstract: *The article analyzes the results of remote training sessions using domestic Internet platforms in educational institutions of the DPR. Recommendations are given for conducting training sessions remotely. Elements of a new methodology for online learning using e-learning and distance learning technologies are proposed. An example of a positive experience of working with undergraduates in the preparation of the final qualification work is given.*

Key words: *Teaching, methodology, analysis, class, experience*

Важнейшей задачей образования, определённой национальной доктриной образования [1], является подготовка квалифицированных специалистов для развития рыночной экономики страны. Особую актуальность получения качественного образования общество переживает в нынешнее время, в период жёсткой политической конфронтации и экономической конкуренции между странами мирового сообщества, необходимости импортозамещения в результате мирового передела рынка поставщиков и потребителей продукции. Особенностью образовательного процесса за последние три года в Донецкой Народной Республике (ДНР) является дистанционная форма проведения учебных занятий. Это обусловлено вызовами пандемии COVID-19 в начале 2020 года, а в последующем - высокой интенсивностью боевых действий в населённых пунктах, находящихся вблизи от линии боевого соприкосновения ДНР. Поэтому образовательный процесс в Республике был организован с применением электронного обучения и дистанционных образовательных технологий (далее ЭО и ДОТ) [2, 3]. Для проведения учебных занятий с применением ЭО и ДОТ были разработаны методические рекомендации [4,5], выбраны способы проведения и инструменты [4-6].

Для проведения учебных занятий преподавателями и учителями образовательных учреждений были выбраны Интернет платформы: *Яндекс.Телемост, Webinar, Telegram, Jazz, VK Сферум* и др. При этом, условиями предпочтительного выбора платформ послужили пожелания:

- проведения аудио- и видео- встреч в формате конференций;
- полноэкранный демонстрации видеоматериалов, презентаций и изображений, с одновременным отображением списка участников, чата;
- ведения мгновенной переписки (чат);
- ведения видео- и аудиозаписи занятий.

Авторами статьи в работах [7,8] проанализированы результаты дистанционной педагогической работы с применением ЭО и ДОТ и использованием выбранных платформ. По результатам проведённого анализа авторы пришли к выводу о необходимости проведения онлайн занятий с обязательным видео отображением всех участников процесса обучения. Визуальный контакт важен для развития речи у обучающегося, которому недостаточно только слышать, но необходимо также видеть мимику и артикуляцию преподавателя, что является элементами полноценной коммуникации. Это позволяет за счёт работы «зеркальных» нейронов активизировать собственную артикуляцию [9] и повлиять на дальнейшее развитие умственных способностей. Так, по мнению авторов работы [9], именно «зеркальные» нейроны передают навыки речи, навыки мыслительных операций (сравнения, анализа, синтеза –

как раз эти мыслительные операции плохо развиты у отстающих школьников) от взрослого человека ребёнку.

Проведенные авторами экспериментальные исследования подтвердили утверждение психологов: если при подаче учебного материала не участвовали «зеркальные» нейроны, то не включатся умственные способности обучающихся. При замене видео занятий на аудиозапись или отправку учебного материала в виде презентаций, конспекта занятий и др. материалов, объем запомненного материала резко снижается, рис.1 [10], особенно у обучающихся школьного возраста (по сравнению со студентами ВУЗов старших курсов). Именно поэтому необходимо учитывать возрастную группу обучающихся при планировании формы и способов подачи учебного материала.



Рисунок 1 – Уровни запоминания информации

Авторы заметили, что при проведении онлайн занятий для усвоения отведенного на занятие материала (в сравнении с аудиторными занятиями) требуется увеличение времени, что связано с низким коэффициентом осмысления обучающимися воспринимаемого учебного материала. Однако, увеличение времени онлайн обучения ограничено допустимыми нормами проведения занятий [11], а кроме того, даже гипотетическое увеличение занятий резко увеличит затраты времени преподавателя на процесс обучения (такое увеличение, по исследованиям авторов, может достигать 250%, а иногда и 500%).

Выходом из сложившейся ситуации может стать новая методика онлайн обучения, согласно которой классические формы проведения занятий станут комбинированными, например, лекционно-практическое занятие; либо лекционно-практическое занятие, переходящее в семинар. Но с обязательной дискуссией и выступлением каждого участника процесса обучения. Однако, при этом преподаватели сталкиваются с коллизией форм проведения занятий, запланированных Учебным планом и отражённом в Индивидуальном плане на учебный год. Очевидно, в ситуации проведения занятий с применением ЭО и ДОТ необходимо разрешить преподавателю самостоятельно выбирать и использовать вид проведения учебных занятий (лекция, практическое занятие, лабораторный практикум, семинар) в рамках общего баланса нагрузки по дисциплине, без жёсткого администрирования соблюдения регламента вида учебных занятий.

Для возможности анализа проведения и результатов учебного занятия авторы рекомендуют делать его видеозапись с последующим публичным обсуждением участниками образовательного процесса.

Одной из положительных сторон дистанционной формы обучения, всё же, является возможность проведения консультаций вне расписания учебных занятий,

разумеется при согласии и мотивации сторон. Например, при выполнении магистрантами выпускной квалификационной работы в 2023 году, сторонами учебного процесса было выбрано вечернее время ежедневных консультаций. Благодаря продолжительной совместной работе (более чем в 5 раз превышающее установленные нормы) за все время прохождения преддипломной практики и периода написания ВКР, обучающиеся подготовили магистерские диссертации, обладающие высоким уровнем научной и патентной новизны, практической значимости, которые и защитили на отличные оценки.

Выводы. При организации образовательного процесса в государственных образовательных заведениях с применением электронного обучения и дистанционных образовательных технологий необходимо разрешить преподавателям вести комбинированные виды занятий в рамках общего баланса нагрузки по дисциплине. Использовать принцип работы «зеркальных» нейронов, организовав онлайн занятия с обязательным видеоформатом всех участников образовательного процесса. Учесть увеличение норм времени при планировании нагрузки преподавателя для полноценной подготовки обучаемого.

Список литературы: 1. Национальная доктрина образования в Российской Федерации. Постановление правительства РФ от 4 октября 2000 г. N 751, г. Москва.- бс. 2. Ембалаева Е.В. Особенности процесса обучения в современных условиях: специфика форм работы // Развитие образования в новых экономических условиях: от идеи до практики // Сборник статей. Материалы Всероссийской научно-практической конференции (с международным участием) 29.01.2020 г. Нижний Тагил – Нижний Тагил: ГАПОУ СО «Нижнетагильский техникум металлообрабатывающих производств и сервиса», 2020. – С. 211-214. [Электронное издание]. – Режим доступа: https://tkpst.ru/files/sbornik_NPK_29012020.pdf 3. Приказ Министерства образования и науки ДНР от 21.03.2022 № 197 "О возобновлении образовательной и научной деятельности в образовательных и научных организациях Донецкой Народной Республики". 4. Дистанционное обучение в школе. Методические рекомендации. [Электронный ресурс] Режим доступа: <https://yandex.ru/promo/education/distancionnoe-obuchenie-shkola-metodicheskie-rekomendacii>. 5. Лапаева, И.В. Методические аспекты использования дистанционного обучения / И.В. Лапаева, О.В. Белокриницкая, И.А.Горобец // Машиностроение и техносфера XXI века // Сборник трудов XXVII международной научно-технической конференции в г. Севастополе 13-19 сентября 2021 г. – Донецк: ДОННТУ, 2021. – С. 273-278. 6. Лебедева, М.Б. Дистанционные образовательные технологии: проектирование и реализация учебных курсов / Под общ. ред. М.Б. Лебедевой. - СПб: БХВ - Петербург, 2010 - 336 с. 7. Горобец, И.А. Современные вызовы и особенности подготовки квалифицированных инженерных кадров / И.А.Горобец, И.В.Лапаева, Н.В.Голубов // Машиностроение и техносфера XXI века // Сборник трудов XXVII международной научно-технической конференции в г. Севастополе 14-20 сентября 2020 г. – Донецк: ДОННТУ, 2020. – С. 86-89. 8. Лапаева, И.В. Риски использования дистанционного обучения при подготовке инженерных кадров / И.В. Лапаева, И.А. Горобец / Машиностроение и техносфера XXI века // Сборник трудов XXIX международной научно-технической конференции в г. Севастополе 12-18 сентября 2022 г. – Донецк: ДонНТУ, 2022. – С. 168-172. 9. Кулебякина Е. Риски цифровизации. [Электронный ресурс] Режим доступа: <https://narasputye.ru/archives/4381> 10. Франк Томас 10 шагов к отличным оценкам. [Электронный ресурс] Режим доступа: <https://coollib.net/b/414482/read> 11. СанПиН 2.4.2.2821-10 "Санитарно-эпидемиологические требования к условиям и организации обучения в общеобразовательных учреждениях". Зарегистрировано в Минюсте РФ 3 марта 2011 г. Регистрационный N 19993.

НЕУСТОЙЧИВОСТЬ ВЫСОКОСКОРОСТНОЙ ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ СОСТАРЕННЫХ СПЛАВОВ В УСЛОВИЯХ УДАРНО-ВОЛВОНОВЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ

Малашенко Т.И., Малашенко В.В. (ДонНТУ, ДонФТИ, ДонГУ, г. Донецк, г. Донецк, РФ, РФ, РФ)
E-mail: malashenko@donfti.ru

Abstract: *The motion of an ensemble of edge dislocations under high strain rate deformation of an aged binary alloy with a high concentration of Guinier-Preston zones is theoretically studied. The dependence of the dynamic yield strength of the aged alloy on the rate of plastic deformation is analyzed. The boundaries of the dynamic instability region of high strain rate deformation are determined.*

Keywords: *aged binary alloys, high strain rate deformation, Guinier-Preston zones.*

Как известно, пластическая деформация при определённых условиях становится скачкообразной [1]. Результатом таких скачков является появление деформационных полос. Одной из причин возникновения скачков пластической деформации является отрицательная скоростная зависимость предела текучести сплава (отрицательное трение) [2]. Такая зависимость может возникнуть, в частности, в области независимых динамических взаимодействий движущейся дислокации с атомами второго компонента [3]. Отрицательное трение имеет свои особенности в области высокоскоростной деформации, возникающей в условиях высокоэнергетических внешних воздействий. Она имеет место при использовании метода динамического канально-углового прессования, при ударно-волновом воздействии на металлы, при воздействии на кристаллы лазерными импульсами высокой мощности, при высокоскоростной обработке, при использовании взрыва для сварки и обработки металлов [4]. При этом дислокации совершают надбарьерное скольжение и движутся со скоростями от десятков до тысяч метров в секунду, а скорость пластической деформации достигает $10^3 - 10^9 \text{ с}^{-1}$. Особенности динамической неустойчивости в этой области скоростей определяются эффектами динамического взаимодействия структурных дефектов. В работе [5] исследовалась неустойчивость надбарьерного скольжения одиночной дислокации в кристаллах с высокой концентрацией точечных дефектов, в работе [6] изучалась неустойчивость движения дислокационного ансамбля в условиях высокоскоростной деформации. В этих работах анализировалась деформация кристаллов, не содержащих зон Гинье-Престона. Целью настоящей работы является анализ влияния этих зон на неустойчивость высокоскоростной пластической деформации состаренных сплавов.

Для анализа высокоскоростной деформации состаренных сплавов мы воспользуемся теорией динамического взаимодействия структурных дефектов (ДВД) [5-9]. Она адекватно описывает механизм диссипации при надбарьерном движении дислокаций и динамическое взаимодействие структурных дефектов в условиях высокоэнергетических внешних воздействий. Это позволяет выполнить качественный анализ ряда важных случаев высокоскоростной деформации.

Рассмотрим бесконечные краевые дислокации, которые под действием постоянного внешнего напряжения σ_0 движутся в плоскостях параллельных XOZ с постоянной скоростью v в кристалле, содержащем атомы второго компонента и зоны Гинье-Престона. Эти зоны образуются на первой стадии старения сплавов и оказывают существенное влияние на их механические свойства. Линии дислокаций параллельны оси OZ . Положение k -ой дислокации определяется функцией

$$X_k(z, t) = vt + w_k(z, t) \quad (1)$$

Здесь $w_k(z, t)$ – случайная величина, описывающая поперечные колебания дислокации, которые возникают при её взаимодействии с хаотически распределенными дефектами структуры. Среднее значение этой величины по длине дислокации и по хаотическому распределению дефектов равно нулю.

Скольжение дислокации описывается следующим уравнением

$$m \left\{ \frac{\partial^2 X_k}{\partial t^2} - c^2 \frac{\partial^2 X_k}{\partial z^2} \right\} = b \left[\sigma_0 + \sigma_{xy}^p + \sigma_{xy}^{dis} + \sigma_{xy}^G \right] - B \frac{\partial X_k}{\partial t} \quad (2)$$

Здесь m – масса единицы длины дислокации, B – константа демпфирования, обусловленная фоновыми, магннными, электронными либо иными механизмами диссипации, характеризующимися линейной зависимостью силы торможения дислокации от скорости ее скольжения, c – скорость распространения поперечных звуковых волн в кристалле, σ_{xy}^p , σ_{xy}^{dis} , σ_{xy}^G – компоненты тензора напряжений, создаваемых на линии k -й дислокации соответственно точечными дефектами (атомы второго компонента), другими дислокациями и зонами Гинье-Престона.

Плоскости зон Гинье-Престона параллельны плоскостям скольжения дислокаций, а их центры распределены в кристалле случайным образом. Будем считать, что все зоны имеют радиус R , одинаковую толщину равную диаметру атома второго компонента, одинаковые векторы Бюргерса $\mathbf{b}_0 = (0, -b_0, 0)$ параллельные оси OY .

Механизм диссипации при надбарьерном скольжении дислокации в упругом поле структурных дефектов заключается в необратимом переходе энергии внешних воздействий в энергию поперечных колебаний дислокации в плоскости скольжения, а потому весьма чувствителен к виду спектра дислокационных колебаний, прежде всего к наличию в нём щели. Спектр колебаний дислокации, содержащий щель, имеет вид

$$\omega(q_z) = \sqrt{c^2 q_z^2 + \Delta^2} \quad (3)$$

Рассмотрим случай, когда спектральная щель создаётся коллективным взаимодействием атомов второго компонента с дислокацией. Величина такой щели определяется выражением

$$\Delta = \Delta_d = \frac{c}{b} (n_d \chi^2)^{1/4} \quad (4)$$

Здесь n_d – безразмерная концентрация атомов второго компонента, χ – параметр их размерного несоответствия. Атомы второго компонента вносят главный вклад в формирование спектральной щели при выполнении условия

$$n_d > \left(\frac{\rho b^2}{\chi} \right)^2 \quad (5)$$

Выполним численную оценку. Для значений $\chi = 10^{-1}$, $b = 3 \cdot 10^{-10}$ м, $\rho = 10^{15} \text{ м}^{-2}$ это условие выполняется при значении концентрации $n_d = 10^{-4}$ и более.

Динамический предел текучести сплава найдем как сумму вкладов силы динамического торможения дислокаций зонами Гинье-Престона τ_G , атомами второго компонента τ_d , фоновго торможения τ_f и дислокационного торможения, определяемого соотношением Тейлора

$$\tau_T = \alpha \mu b \sqrt{\rho} = T, \quad (6)$$

где μ – модуль сдвига, ρ – плотность дислокаций, α – безразмерный коэффициент порядка единицы.

Воспользовавшись результатами теории ДВД, выражение для вклада зон Гинье-Престона в динамический предел текучести запишем в виде

$$\tau_G = \frac{K}{1 + \frac{\dot{\epsilon}}{\dot{\epsilon}_G}}; \quad K = \frac{\mu n_G b_0^2 R}{\sqrt[4]{n_d \chi^2}}; \quad \dot{\epsilon}_G = \rho R c \sqrt[4]{n_d \chi^2} \quad (7)$$

Вклад атомов второго компонента имеет следующий вид

$$\tau_d = \gamma \frac{\dot{\epsilon}}{1 + (\dot{\epsilon} / \dot{\epsilon}_d)^2}; \quad B_d = \frac{\mu b}{c} \sqrt{n_d \chi^2}; \quad \gamma = \frac{B_d}{\rho b^2} = \frac{\mu \sqrt{n_d \chi^2}}{\rho b c} \quad (8)$$

Здесь B_d – константа динамического торможения дислокации атомами второго компонента. Фононное торможение дислокаций даёт следующий вклад в динамический предел текучести

$$\tau_f = f \dot{\epsilon}; \quad f = \frac{B}{\rho b^2} \quad (9)$$

Следовательно, зависимость динамического предела текучести состаренного сплава от скорости пластической деформации определяется выражением

$$\tau = \gamma \frac{\dot{\epsilon}}{1 + (\dot{\epsilon} / \dot{\epsilon}_d)^2} + \frac{K}{1 + \dot{\epsilon} / \dot{\epsilon}_G} + f \dot{\epsilon} + T \quad (10)$$

Полученная скоростная зависимость предела текучести сплава является немонотонной и имеет максимум и минимум.

Положение максимума скоростной зависимости определяется выражением

$$\dot{\epsilon}_{\max} = \rho R c \sqrt[4]{n_d \chi^2} \left(1 + \frac{n_d \chi^2}{n_G b R^2} \right) \quad (11)$$

Минимум имеет место при значении скорости

$$\dot{\epsilon}_{\min} = \rho b^2 R \sqrt{\frac{\mu c n_G}{B} \left(1 + \frac{n_d \chi^2}{n_G b R^2} \right)} \quad (12)$$

Из полученных формул следует, что в области высоких скоростей деформации и высоких концентраций зон Гинье-Престона возрастание количества этих зон повышает неустойчивость пластической деформации.

Список литературы: 1. Дж. Хирт, И. Лоте. Атомиздат, М. (1972). 600 с. 2. Г.Ф. Сарафанов. Формирование квазикристаллических структур в ансамбле дислокаций // Физика твёрдого тела. - 2001. Т. 43. – С. 1041-1047. 3. Варюхин В.Н., Малашенко В.В. Динамические эффекты в дефектной системе кристалла // Известия РАН. Серия физическая. 2018. Т. 82, № 9. С. 37– 42. 4. Batani D. Matter in extreme conditions produced by lasers // Europhysics Letters.- 2016.- V. 114.- P. 65001(1-7). 5. В.В. Малашенко. Влияние коллективных эффектов на характер динамического поведения одиночной краевой дислокации в кристалле с точечными дефектами // ФТТ. - 2007.- Т. 49, № 1.- С. 78-82. 6. В.В. Малашенко. Динамическая неустойчивость дислокационного движения при высокоскоростной деформации кристаллов с высокой концентрацией точечных дефектов // ФТТ. – 2015.- Т. 57, № 12.- С. 2388-2390. 7. Malashenko V.V. The effect of Guinier–Preston zones on the dynamic yield stress of alloys under the shock-wave load // Technical Physics. 2017.-V. 62.- № 5.- P. 810-811. 8. Malashenko V.V. Dynamic drag of edge dislocation by circular prismatic loops and point defects // Physica B: Phys. Cond. Mat. 2009. V. 404, № 2. P. 3890–3892. 9. Малашенко В.В. Нарушение соотношения Тейлора в условиях высокоэнергетических внешних воздействий. Физика твердого тела. 2022. Т. 64, № 8. С. 1012-1017.

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПЫЛЕУЛОВИТЕЛЯ ДЛЯ УГОЛЬНЫХ ШАХТ

Малеев В.Б., Шамрай Ю.А., Малеев А.В., Кудрявцев А.А.
(ФГБОУ ВО «Донецкий национальный технический университет», г. Донецк,
ДНР, Россия)

Abstract: To describe coal dedusting in coal mines, a mathematical model has been developed that makes it possible to determine the main hydraulic parameters of a rotary dust collector according to the mixing scheme of water entering a multi-chamber ejector connected to a rotary mixer and a diffuser-confuser pipe passing into a rotary chamber of the droplet separator.

Ключевые слова: угольная шахта, гидродинамическое обеспыливание, жидкость, газ, многокамерный эжектор, каплеотделитель.

Key words: coal mine, hydrodynamic dedusting, liquid, gas, multi-chamber ejector, drop separator.

Борьба с пылью в условиях угольной шахты на поверхности и в горных выработках должна быть комплексной, с единым подходом на основе гидродинамического обеспыливания, в котором реализуются импульсно-волновые потоки.[1]. Идея вихревого смешения и разделения потоков газа и жидкости с минимальными энергетическими потерями привела к разработке математической модели ротационного смесителя которая описывает гидродинамический процесс ротационного пылеуловителя, состоящего из ротационного смесителя, многокамерного эжектора, диффузорно-конфузорной трубы и ротационного каплеотделителя [2,3,4,5].

Принимаем, что жидкая фракция диспертированная пылегазовым потоком, представлена каплями, образующимися при истечении пылегазожидкостного потока из многокамерного эжектора в диффузор-конфузорную трубу. Дисковая конструкция ротационной камеры смещения и разделения потоков газа и жидкости позволяет воздействовать на структуру газожидкостного потока центробежными силами, центрифугируя поток на два слоя – внешний, пристеночный поток жидкости и внутренний-газа, что обеспечивает эффективное как разделение, так и смещение компонентов в процессе улавливания пыли.

Учитывая общность и различие гидродинамических процессов, происходящих в ротационном смесителе и каплеотделителе, проведем теоретическое исследование динамического процесса ротационного движения потока, например в каплеуловителе.

Считаем, что в каплеотделителе капли жидкости с потоком по поверхности газового вихря. Тогда, система уравнений движения и неразрывности для газа и капель жидкости (с условленными частицами пыли) с дисковым вихревым ротационном каплеотделителе:

$$\rho_c \left(\vartheta \frac{d\vartheta}{dr} - \frac{\omega^2}{r} \right) = \frac{d\rho}{dr} + \mu \frac{d}{dr} \cdot \frac{d(r\vartheta)}{r \cdot dr}, \quad (1)$$

$$\rho_c \vartheta \frac{d(z\omega)}{r \cdot dr} = \mu_r \frac{d}{dr} \cdot \frac{d\rho}{dr} \cdot \frac{d(z\omega)}{r \cdot dr}, \quad (2)$$

$$\rho_c \left(\vartheta \frac{d\vartheta}{dr} - U \frac{du}{dx} \right) = - \frac{d\rho}{dx} + \mu_c \left(\frac{d^2u}{dr^2} + \frac{1}{r} \frac{du}{dr} + \frac{d^2u}{dx^2} \right), \quad (3)$$

$$\frac{d(z\omega)}{dr} + \frac{d(ru)}{dx} = 0. \quad (4)$$

где

- ρ_c средняя плотность газожидкостного потока у стенки при $\tau = \tau_{00}$; ϑ - линейная скорость газа; ω - линейная скорость капель жидкости; μ, μ_r - кинематическая

вязкость соответственно жидкости и газа; $-$ осевая скорость потока; r -радиус ротационной камеры; P -давление потока.

Примем граничные условия исхода из конструктивных параметров ротационного каплеотделителя и параметров потока у образующей стенки в следующем соотношении:

$$\tau = \tau_c; \vartheta = \frac{G}{\rho_c \Phi(r_c)}; \omega = \omega_c; r \rightarrow 0; r\omega \rightarrow 0;$$

$$r = 0; U = 0; x = l_c; U = U_0; P = P_{\text{вых}}; \rho = \rho_c = \text{const.}$$

Где l_c - ширина ротационной камеры; $\Phi(r_c)$ - площадь камеры по радиусу.

При значении $x = l_c$ осевая скорость потока U принимает среднее значение скорости капель жидкости;

$$U = \frac{G}{\rho_c \pi r_c^2 \cdot \varepsilon}, \varepsilon = 1 - \left(\frac{r}{r_c}\right)^2, \quad (5)$$

Здесь G -массовый расход капель жидкости, ε - коэффициент заполнения капель каплями жидкости каплеотделителя.

Если принять что распределение скорости U соответствует режиму изотропной дисперсии капель жидкости, то:

$$dU = \frac{G \cdot d_x}{\rho \cdot \pi \cdot r_c^2 \cdot \varepsilon \cdot l_c}$$

Принимает среднее значение скорости капель жидкости:

С учетом этого уравнения (4), можно записать

$$\frac{d(rV)}{dr} = -r \cdot \frac{G \cdot d_x}{\rho \cdot \pi \cdot r_c^2 \cdot \varepsilon \cdot l_c}, \quad (6)$$

Если в уравнении (3) пренебречь вязкостью газа, т.к. $\mu_r = 0$, то систему уравнений (1-4) можно записать в упрощенном виде

$$V \frac{dv}{dx} - \frac{W}{r} = \frac{d(rW)}{r \cdot d \cdot r'} \quad (7)$$

$$V \frac{d(rW)}{r \cdot dr} = V \frac{d}{dr} \cdot \frac{d(rW)}{r \cdot dr'}, \quad (8)$$

$$U \frac{du}{dx} = \frac{1}{\rho_c} \cdot \frac{dp}{dx}, \quad (9)$$

$$\frac{d(rV)}{dr} + \frac{d(rU)}{dx} = 0 \quad (10)$$

Решая совместно уравнения (10), (6), (7), получим зависимость для определения линейной скорости газа V в ротационном каплеотделителе.

$$V = -\frac{G}{\rho \cdot 2\pi r_c \varepsilon l_c} - \left(\frac{r}{r_c} - (1 - \alpha \cdot \varepsilon \frac{r_c}{r})\right) \quad (11)$$

где α – степень отделения (сепарации) капель жидкости из газового потока.

Решив уравнения (8), получим распределение скорости капель жидкости W по радиусу ротационного каплеотделителя:

$$W = W_c \frac{r_c}{r} \left(1 - \frac{X}{\lambda}\right), \quad (12)$$

$$X = \int_{r_c}^r \exp\left(\frac{br^2}{Vr_c}\right) \cdot r^{\alpha\epsilon r_c} \cdot dr$$

$$\lambda = \int_0^{V_c} \exp\left(\frac{br^2}{Vr_c}\right) \cdot r^{\alpha\epsilon r_c} \cdot dr$$

Здесь b – коэффициент, учитывающий расход компонентов (газа и жидкости по объему)

Интегрируя уравнения (1), получим распределения в вихревом потоке ротационного каплеотделителя:

$$P = P_c - P_1 - P_2 \quad (13)$$

где:

$$P_1 = \rho V^2 \left[\frac{r}{2r_c} - \frac{(1 - \alpha\epsilon)^2 r_c^2}{2r} - \left(1 - \alpha\epsilon + \frac{(\alpha\epsilon)^2}{r}\right) \right],$$

$$P_2 = 0.5 \rho W^2 l_n \frac{r}{r_c}.$$

На рис. 1 представлены зависимости давления в ротационной камере, полученные путем решения зависимости (13) и результатов экспериментальных исследований [1].

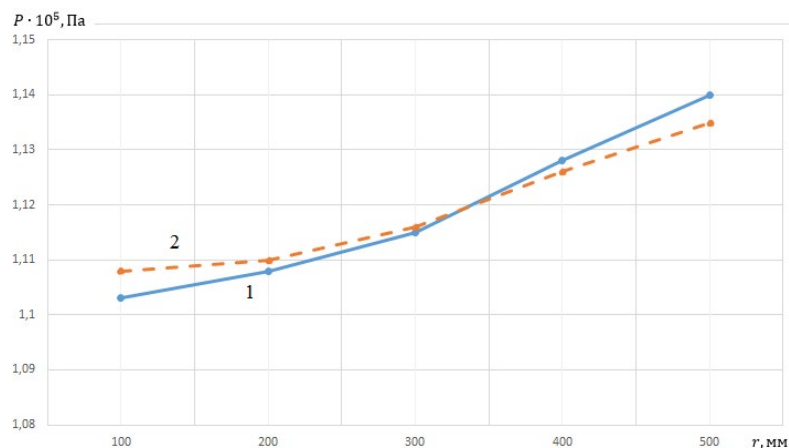


Рис. 1. Зависимость давления в ротационном каплеотделителе от радиуса: 1 – теория, 2 – эксперимент.

Удовлетворительная сходимость расчетных значений с экспериментальными позволяет считать предложенную математическую модель адекватной реальному процессу.

Выводы. Полученная математическая модель позволяет определить основные гидродинамические параметры ротационного пылеуловителя для угольных шахт.

Список литературы: 1. Гого В.Б., Малеев В.Б. Гидродинамическое подавление пыли в условиях угольных шахт: теория и технические решения.- Донецк: ДОННТУ.- 2008.-240с. 2. Устройство для тушения горячих отвалов А.С. №1332037 СССР/Гейер В.Г., Зборщик М.П., Осокин В.В., Варакин В.М., Малеев В.Б., Гого В.Б. 3. Многоступенчатый эрлифт А.С. №1370323 СССР/ Гейер В.Г., Гого В.Б., Малеев В.Б., Бутенко П.С., Триллер Е.А., Надеев Е.И. 4. Эжектор/ Гого В.Б., Малеев В.Б. Декларационный патент №16953 Украина, МПК F04F5/16

ПРОБЛЕМА НЕРАВНОМЕРНОСТИ ТЕМПЕРАТУРНЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ НА ПЕРО ЛОПАТКИ ТУРБИНЫ ГАЗОТУРБИННОГО ДВИГАТЕЛЯ

Михайлов А.Н., Анастасьев А.В., Пичко Н.С. (ДОННТУ, УФ УГТУ, г. Донецк, г. Усинск, ДНР, Россия)

Тел.: +79493497428; E-mail: anastasyev.av@yandex.ru

Abstract: This article analyzes the thermal effects on the functional elements of the airfoil of the turbine blade of a gas turbine engine, and determines the uneven nature of the temperature distribution along the profile of the airfoil. It has been established that the blade airfoil is subjected to a variable temperature effect, which subsequently leads to uneven wear. The characteristic zones of temperature influences are determined. The existing methods of increasing the resource of turbine blades are considered, and the main ways of increasing their resource are determined on the basis of heat-shielding coatings in general, and on the basis of functionally oriented technologies in particular.

Key words: blade, turbine, gas turbine engine, coating, resource, structure.

1. Введение

В настоящее время наблюдается тенденция к повышению рабочих температур газотурбинных двигателей (ГТД), при этом одним из ограничивающих факторов выступает максимальная температура, при которой может работать лопаточный аппарат турбины. Температура материала лопаток турбины ГТД в ряде случаев достигает 80% от величины температуры плавления, при этом лопатка находится в нагруженном состоянии [1]. Следует отметить неравномерное распределение температуры в теле лопатки [2, 3] и соответствующие возникающие напряжения под действием эксплуатационных нагрузок.

Особенностью работы лопаток турбины (далее – ЛТ) являются переменные нагрузки, высокие температуры рабочего газа, наличие высокоскоростного газового потока, содержащего мельчайшие твердые частицы. С целью повышения ресурса, путем увеличения жаростойкости, сопротивления окислению, процессам эрозионного разрушения и механического износа ЛТ покрываются защитными покрытиями.

Целью данной работы является анализ проблемы неравномерных температурных нагрузок в теле пера лопатки и поиск путей её решения.

2. Основное содержание и результаты работы

Сложная пространственная форма пера лопатки и особенности процессов

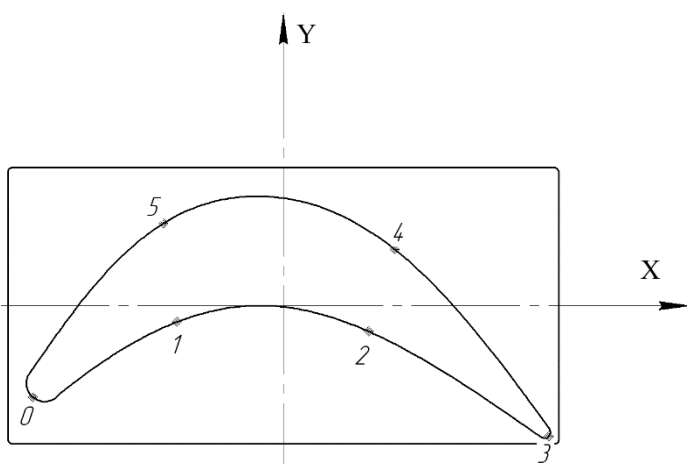


Рис. 1. Контрольные точки на профиле ЛТ ГТД

работы турбины ГТД приводят к неравномерности нагрева в процессе работы, что приводит к преждевременному выходу из строя. Как отмечалось ранее [2, 4], для обеспечения функциональных свойств всех элементов пера лопатки необходимо провести анализ эксплуатационных воздействий, возникающих в процессе работы.

Для решения данной проблемы были рассмотрены результаты натурных

испытаний [5, 6] и компьютерного моделирования [7, 8] как отечественных, так и зарубежных ученых. При этом, для более информативного понимания распределения температуры по профилю лопатки, на нем были выбраны контрольные точки s, находящиеся на равном расстоянии друг от друга (рис. 1) и различные сечения в разных частях профиля пера лопатки.

При анализе вышеуказанных результатов испытаний были выбраны три сечения на профиле ЛТ ГТД – нижняя часть пера (сечение 1-1), середина профиля (сечение 2-2) и верхняя часть пера (сечение 3-3) (рис. 2). Зоны основания и вершины профиля не рассматривались, в связи с неточностью данных при натурных испытаниях, вызванных ограничениями в устройстве для измерения температурных воздействий. Построенные по этим данным графики распределения температур по профилю ЛТ ГТД (рис. 3)

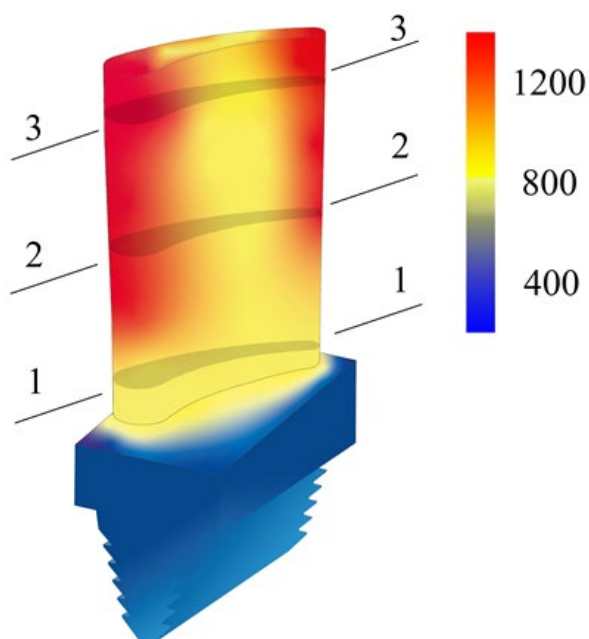


Рис. 2. Сечения на профиле ЛТ ГТД

наглядно демонстрируют величину неравномерности температурных воздействий, достигающую перепада порядка 500...700°C на различных участках профиля.

Возникновение различных температурных зон на профиле пера лопатки (см. рис. 3) приводит к неравномерным напряжениям и различным механизмам дальнейшего разрушения. Так, в зонах «высоких» температур наблюдается преждевременное интенсивное окисление из-за предельного уровня температур, и напряжения сжатия в покрытии, а в зонах «низких» температур – наблюдается возникновение термоусталостных трещин, приводящих к фрагментации покрытия и его разрушению.

Проанализировав температурные воздействия в контрольных точках всех сечений, были определены следующие

закономерности:

1. Распределение температуры в процессе эксплуатации ЛТ ГТД неравномерно, и вызвано как особенностями их геометрии (в частности, повышенным температурам на выходной кромке лопатки, вызванным относительно маленькой толщиной пера лопатки и воздействию высоких температур как со стороны корытца, так и со стороны спинки), так и особенностями протекающих рабочих процессов.

2. Современные методы компьютерного моделирования тепловых процессов в настоящее время дают практически идентичные натурным испытаниям результаты.

3. На профиле лопатки можно выделить основные зоны, подверженные максимальным температурным воздействиям, такие как – входная кромка (воспринимающая основной поток рабочих газов), средняя часть корытца, и выходная кромка (в связи с относительно маленькой толщиной, и ухудшенным теплоотводом).

Так, основываясь на величине температурных воздействий на поверхности лопатки (рис. 3) характерно прослеживаются зоны максимального, умеренного и минимального воздействия.

В современном двигателестроении активно применяются теплозащитные покрытия (ТЗП), которые представляют собой комбинацию из внешнего керамического и внутреннего жаростойкого слоев. При этом внешний слой обеспечивает теплозащитный эффект, за счет низкой теплопроводности, а внутренний жаростойкий слой обеспечивает сцепление керамического слоя с подложкой и защиту поверхности лопатки от высокотемпературного окисления [9]. Толщина такого покрытия может достигать 100-200 мкм и более. Однако, увеличение толщины покрытий ограничено рядом факторов, таких как: появлением остаточных напряжений и их ростом с увеличением толщины, существенным увеличением веса лопаток (до 1кг на каждый 1 м² поверхности лопаток [10]), а также уменьшением проходного сечения рабочего тракта. Остаточные напряжения влияют и на прочность соединения покрытия с подложкой.

Ориентируясь на вышеизложенное, следует отметить, что для осуществления возможности эффективно равномерно оказывать сопротивление неравномерным

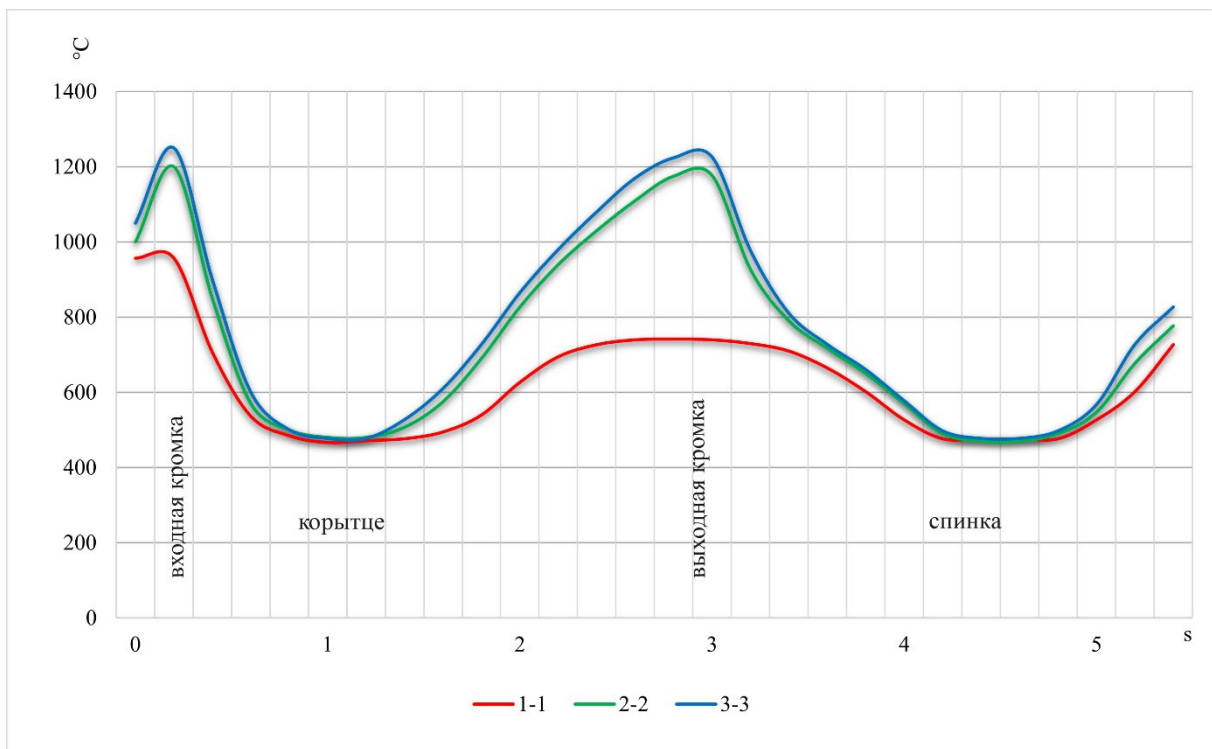


Рис. 3. График распределения температур по профилю ЛТ ГТД (график построен по данным исследования [5])

эксплуатационным воздействиям – необходимо применение специальных функционально-ориентированных технологий.

3. Заключение

Таким образом, на основании выполненного анализа особенностей распределения температуры по телу пера ЛТ ГТД в различных сечениях было установлено, что в процессе эксплуатации перо лопатки подвергается неравномерным температурным воздействиям, наиболее интенсивным на входной и выходной кромке. На основании анализа существующих методов повышения жаростойкости ЛТ ГТД было установлено что: современные теплозащитные покрытия позволяют существенно снизить температуру пера лопатки (до 100-150°С), однако они имеют постоянную

толщину, что не позволяет уменьшить неравномерность температурных воздействий по всему объему пера.

Обеспечение процесса равномерного износа элементов лопатки турбины возможно при обеспечении её функционально-ориентированных свойств. При этом, для реализации ФОС ЛТ необходимо учитывать эксплуатационные особенности их функционирования.

Список литературы: 1. Тихонов, А.С. Внедрение технологий «Цифрового двойника» применительно к оптимизации теплового состояния и повышению ресурса охлаждаемых лопаток промышленных газовых турбин / А.С. Тихонов, А.Ю. Тамм, А.В. Пивоварска // Сборник докладов LXV научно-технической сессии по проблемам газовых турбин и парогазовых установок «Фундаментальные проблемы исследований, разработок и реализации научных достижений в области газовых турбин в российской экономике». – Санкт-Петербург: ОАО «ВТИ», 2018. – С. 44-50. 2. Михайлов, А. Н. Основы синтеза механизма повышения ресурса лопаток турбины газотурбинного двигателя на базе функционально-ориентированного подхода / А. Н. Михайлов, А. В. Анастасьев, Н. С. Пичко // Прогрессивные технологии и системы машиностроения. – 2022. – № 4(79). – С. 35-43. – EDN LGNZXZ. 3. Анализ условий работы поверхностных слоев рабочих лопаток турбины современных двигателей / М. А. Петрова, Мехди Саадатибаи, А. И. Тарасов / Научный вестник МГТУ ГА. 2015. №217 (7). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/analiz-usloviy-raboty-poverhnostnyh-sloev-rabochih-lopatok-turbiny-sovremennyh-dvigatelay> (дата обращения: 24.09.2022). 4. Михайлов, А. Н. Основы синтеза функционально-ориентированных технологий машиностроения / А. Н. Михайлов ; А. Н. Михайлов. – Донецк : Технополис, 2009. – 346 с. – ISBN 9667907244. 5. Giel P. W. et al. Heat transfer measurements and predictions on a power generation gas turbine blade // Turbo Expo: Power for Land, Sea, and Air. – American Society of Mechanical Engineers, 2000. – Т. 78569. – С. V003T01A017. 6. Consigny Н., Richards В. E. Short duration measurements of heat-transfer rate to a gas turbine rotor blade. – 1982. 7. Yang D., Yu X., Feng Z. Investigation of leakage flow and heat transfer in a gas turbine blade tip with emphasis on the effect of rotation. – 2010. 8. Исследование теплового и прочностного состояния охлаждаемой рабочей лопатки турбины высокого давления / А. А. Салимзянова, А. Х. Рахимов, Г. Ф. Спиридонов [и др.] // Молодежный вестник Уфимского государственного авиационного технического университета. – 2020. – № 1(22). – С. 129-132. – EDN KONGLR. 9. Высокотемпературные жаростойкие покрытия и жаростойкие слои для теплозащитных покрытий / С. А. Мубояджян, С. А. Будиновский, А. М. Гаямов, П. В. Матвеев // Авиационные материалы и технологии. – 2013. – № 1(26). – С. 17-20. 10. Каблов, Е. Н. Жаростойкие и теплозащитные покрытия для лопаток турбины высокого давления перспективных ГТД / Е. Н. Каблов, С. А. Мубояджян // Авиационные материалы и технологии. – 2012. – № 5. – С. 60-70. – EDN PFTMXZ.

ОСОБЕННОСТИ РАЗРАБОТКИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЭКСЦЕНТРИКОВЫХ ПЛАНШАЙБ ДЛЯ ИЗМЕНЕНИЯ И ФИКСАЦИИ ОСЕЙ ВРАЩЕНИЯ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС

Михайлов А.Н., Котляров В.Б. Котляров Б.С., Котляров С.Б.

(ДОННТУ, ВФ УГТУ, г. Донецк, г. Москва, г. Ялта, ДНР, Россия)

Тел: +7(988)-55-40-021; +7(985) 021-79-06, +7(964) 70-45-362;

E-mail: tm@fimm.donntu.org; velidarkotlarov@mail.ru; boris.kotlyarov@mail.ru

Abstract: *The results of studies related to the technological support of methods for forming the geometry and surface properties of eccentric faceplates designed to control the kinematics of the gearshift system in the gearbox without breaking the PPM are presented. The kinematics of the relative movement of the machining tools and the workpiece should be provided, which ensures the correspondence of the kinematics, taking into account the speed and time correspondence of the relative movements of the GMT of the axes of the gear wheels and auxiliary axes and the thrust surfaces of the faceplates in the process of gear shifting of the gearbox.*

Key words: *function, eccentric faceplate, gear, rotation axis, machined surface, allowance, FOT-impact, cutting.*

Важнейшим вопросом обеспечения работоспособности механизма, в частности, работы КПП без разрыва ППМ, является технологическое обеспечение изготовления отдельных деталей, которые могут обеспечить точное воспроизведение кинематики движений в процессе взаимодействия. В настоящей работе решается задача обработки поверхностей эксцентриковых планшайб, обрабатываемых по отдельности, но в сборе обеспечивающих согласованное перемещение общей фиксирующей для планшайб оси при условии перемещения по заданной траектории [1, 2].

Основное внимание в этой работе уделено разработке части технологического процесса формообразования пазов в планшайбах, которые ориентируют взаимоположение планшайб и обеспечивают траектории изменения взаимных положений фиксирующего пальца относительно обеих планшайб.

Цель настоящей работы заключается в решении задачи изготовления механизма для переключения передач КПП без разрыва ППМ, в частности основных деталей механизма, которые должны обеспечивать перевод осей вращения зубчатых колес на новые ГМТ осей вращения в ограниченное время и по заданной траектории.

Проблемными моментами в решении этой задачи являются вопросы, решение которых позволяет воспроизвести траекторию перемещения осей колес в пределах переключения в границах угловых секторов зубчатых колес и за период времени прохождения колесами этих секторов. За это время зубчатое колесо, не принимавшее участия в передаче вращения, должно занять штатное место в зацеплении с шестерней, а первое колесо перейти в положение, где будет вращаться в режиме холостого вращения. Основными деталями, обеспечивающими точность траектории, скоростного и временного соответствия движений зубчатых колес во время взаимодействия при переключении передач, являются эксцентриковые планшайбы. Их геометрия по форме не сложная, однако требования по точности взаимного расположения отдельных элементов детали являются достаточно жесткими. Кроме того, следует принимать во внимание твердость и шероховатость сопрягаемых поверхностей планшайб.

Для достижения цели работы необходимо решить ряд следующих задач:

1. Установить порядок выбора варианта обработки эксцентриковых планшайб, исходя из функциональной значимости участков и зондеталей;

2. Разработать схему технологического обеспечения формообразования деталей и придания требуемых свойств функциональным поверхностям планшайб;

3. Разработать условия технологического обеспечения геометрической формы точности взаимного расположения функционально значимых элементов планшайб при обработке на универсальном металлорежущем оборудовании с учетом локализации зон в системе координат детали.

Эскиз эксцентриковых планшайб обеспечивающих местоположение ГМТ осей вращения зубчатых венцов в системе декартовых координат, представлен в сопряжении и по отдельности на рисунках 1а, 1б, 1в. При этом на рисунке 1а приведен принципиальный эскиз в совместном ориентировании оси вращения блок-вала колес.

На рисунке 1б дан эскиз с указанием функциональных поверхностей для наружной планшайбы, и аналогично на рисунке 1в приведен эскиз для внутренней планшайбы.

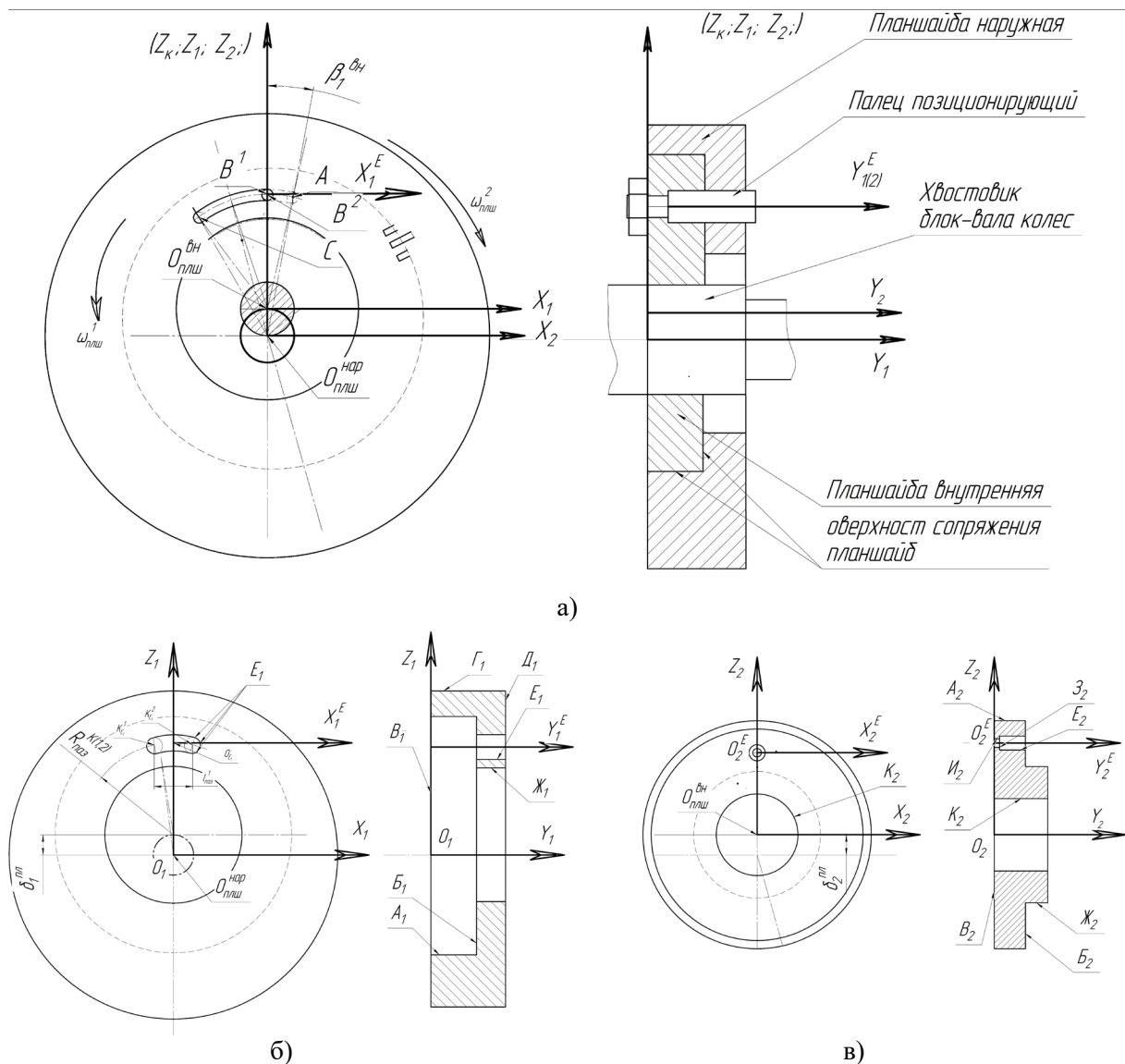


Рис. 1. Схема взаимного расположения наружной и внутренней эксцентриковых планшайб:

- а) положение планшайб в сборе с ориентирующим элементом; б) технологический эскиз наружной планшайбы; в) технологический эскиз внутренней планшайбы.

Все функциональные поверхности планшайб обозначены буквами русского алфавита в соответствии с ранее разработанным порядком [3, 4, 5].

Для удобства распределим поверхности планшайб по группам предназначённости:

а) поверхности сопряжения и относительного перемещения. Это поверхности наружной планшайбы A_1, B_1, Γ_1, D_1 , и поверхности A_2, B_2 , а также все входящие в шлицевое соединение поверхности K_2 внутренней планшайбы;

б) поверхности ориентирующие и координирующие. К ним можно отнести поверхности контура криволинейного паза, обозначенные E_1 наружной планшайбы, и поверхности под координирующий палец $E_2, Z_2, И_2$ внутренней планшайбы;

в) ограничительные поверхности $B_1, Ж_1$ и B_2 обеих планшайб;

г) базовыми технологическими поверхностями являются A_1, B_1 для наружной планшайбы, и поверхности K_2 и B_2 внутренней планшайбы.

Следует отметить, что поверхностям A_1, B_1, Γ_1, E_1 а также A_2, B_2, E_2 необходимо придать повышенную твердость (до 48...54 HRC), и повышенное качество чистоты поверхности, соответствующее значениям от $R_z 0,6$ до $R_z 1,2$. При этом к поверхностям A_1, A_2 предъявляются требования по биению относительно базовых поверхностей не более 0,05 мм, а к E_1 и E_2 – по отклонению от перпендикулярности.

Общий порядок обобщенного техпроцесса обработки планшайбы может формироваться в следующем виде:

- выбор марки стали с учетом технических требований к детали;
- выбор вида заготовки с учетом наличия, возможности приобретения материалов;
- разработка техпроцесса обработки с учетом имеющегося оборудования;
- токарная обработка поверхностей вращения с припуском на чистовую обработку после термообработки;
- сверлильные работы;
- фрезерные работы;
- термообработка, закалка;
- чистовое точение и растачивание поверхностей вращения;
- контроль геометрии и требований к качеству поверхностей.

Зоны и участки деталей, отмеченные в группе в) имеют номинальные требования средних классов точности по геометрии, а также по твердости и по требованиям к качеству чистоты поверхностей.

Исходя из требований к твердости отдельных поверхностей, в качестве материала выбирается конструкционная углеродистая сталь, позволяющая методом закаливания и финишной обработки после закаливания достигать требуемых показателей. В нашем случае достаточными показателями обладает недефицитная сталь марки 40X. Вид получения заготовок для планшайб выбирается из стандартного сортового проката стального путем отрезания от круга заготовок нужной длины.

Поскольку на предприятиях могут отсутствовать станки с ЧПУ, весь техпроцесс построен с учетом использования универсального металлорежущего оборудования. Токарные операции могут выполняться на станке 1Б63. Для выполнения сверлильных операций может использоваться радиально-сверлильный станок 2Н55, а для выполнения фрезерных операций станок 6Р12. Выполнение паза E_1 в наружной планшайбе и координатно точно определенного отверстия E_2 во внутренней планшайбе может выполняться на координатно-расточном станке мод. 2Д450.

Для обеих планшайб установлены системы координат $S_1 (X_1 Z_1 Y_1)$ с центром O_1 , и $S_2 (X_2 Z_2 Y_2)$ с центром O_2 соответственно. Для зоны детали –паза, обозначенной E_1 и для отверстия E_2 установлены частные системы координат $S_1^E (X_1^E Z_1^E Y_1^E)$ с центром

частной системы в точке O_1^E и $S_2^E(X_2^E Z_2^E Y_2^E)$ с центром системы координат в точке O_2^E . Паз E_1 должен выполняться перемещением режущего инструмента по конечным точкам до центра условной окружности с центром в точке K_{E1}^2 на рисунке 16. В координатной системе $S_2^E(X_2^E Z_2^E Y_2^E)$ с центром в точке O_2^E зоны паза закон перемещения может быть выражен в виде функции, как $z = f(x)$. При этом, строго говоря, зависимость эта должна определяться соотношением скоростей вращения и временем перехода оси блок-вала колес из точки, совпадающей с точкой K_{E1}^1 в точку оси вала, совпадающей с точкой K_{E1}^2 .

Обработка паза E_1 и отверстия E_2 в планшайбах – это обработка участков деталей и поверхностей, которые отмечены в группе б). Требования к геометрии этих поверхностей и к отклонениям от номинального положения наиболее высокие.

В процессе переключения передач оси вращения блок-вала колес должны быть коллинеарные оси Y_{E2}^E координирующего пальца, перемещаемого в пазу E_1 . Если угловая скорость блок-вала колес $\omega_K^{\delta-\epsilon}$ определяет быстродействие механизма

переключения как $t_{i \rightarrow (i \pm 1)}^{nep} = \frac{\varphi_{yc}^{\delta-\epsilon}}{\omega_K^{\delta-\epsilon}}$, где $\varphi_{yc}^{\delta-\epsilon}$ – величина углового сектора

переключения, то условием обеспечения работоспособности механизма переключения КПП является соотношение фактического и расчетного времени прохождения углового сектора колеса зоны, в течение времени прохождения которого происходит перемещение оси вращения в новое ГМТ в виде: $t_{факт}^{nep} \leq t_{i \rightarrow (i \pm 1)}^{nep}$. Здесь символ $t_{факт}^{nep}$ отражает реальное время быстродействия механизма переключения определяемое размерами и местоположением паза на планшайбе с учетом скорости установочного проворота планшайб. Подробнее рассмотрено в других работах [6].

Такое положение предполагает при формообразовании паза для контакта с фиксирующим пальцем учитывать не только геометрию самого паза и траекторию формирования линии контакта с пальцем, но и размеры диаметра самого пальца и ширины паза под палец в сопряжении.

При выбранной оптимальной скорости резания $V_{рез}$ для станка в зависимости от материала и выбранной оптимальной подаче имеем фактическую скорость перемещения оси режущего инструмента (фрезы) в продольном и поперечном направлениях $S_{пр}$ и $S_{поп}$, их можно считать как перемещения по осям Y и Z со скоростью V_{Y} и V_{Z} соответственно.

При вертикальном врезании в точке K_{E1}^1 паз E_1 выполняется проходом фрезы в точку, где ось фрезы совпадает с точкой K_{E1}^2 по заданной траектории. При фрезеровании на вертикально-фрезерном станке обработку контура паза можно выполнить по копиру, а на координатно-фрезерном – можно выполнить по координатам.

Еще особым случаем можно считать процесс точения сопрягаемых поверхностей обеих планшайб, которые имеют эксцентриситет относительно базовых поверхностей. Сами поверхности этих диаметров обрабатываются с использованием 4-х кулачковых патронов, а направление смещения осей поверхностей определяется положением на диске планшайбы: паза E_1 для наружной планшайбы, и отверстия E_2 для фиксирующего пальца, выполняемого на внутренней планшайбе.

После термообработки чистовая обработка поверхностей вращения выполняется на токарном станке с применением пластинок из сверхтвердых материалов на основе

кубических нитридов бора (КНБ). Такое точение позволяет достигать высокого качества поверхности при высокой точности обработки.

Заключение.

Вследствие выполненных работ получены результаты, позволяющие решать ряд частных задач по изготовлению различных деталей КПП без ППМ, представляющих определенные сложности, на универсальном оборудовании, которое имеется практически на всех металлообрабатывающих предприятиях.

В частности достигнуто решение ряда следующих частных задач:

1. Установлен порядок выбора варианта обработки эксцентриковых планшайб, исходя из функциональной значимости участков и зон деталей;
2. Разработана принципиальная схема технологического процесса обработки для обеспечения формообразования деталей и придания требуемых свойств функциональным поверхностям планшайб, определяющих перевод осей вращения блок-вала колес КПП.
3. Разработаны условия технологического обеспечения геометрической формы точности взаимного расположения функционально значимых элементов планшайб при обработке на универсальном металлорежущем оборудовании с учетом локализации зон в системе координат детали и частных координатных систем участков.

Список литературы: 1. Артоболевский И.И. Механизмы в современной технике. Справочное пособие для инженеров, конструкторов и изобретателей. В 7 томах: Элементы механизмов. Рычажно-кулачковые, механизмы Т.3.Зубчатые механизмы Т4. Изд. 3. 2019, 500 с. 2. Базров Б.М. Основы технологии машиностроения: Учебник для вузов. – М.: Машиностроение, 2005. – 736 с. 3. Михайлов А. Н. Основы синтеза функционально-ориентированных технологий машиностроения. Донецк, ДонНТУ, 2009. -346с. 4. Михайлов А. Н. Проявление атрибутов деталей машин как факторов разработки функционально-ориентированных технологий / Михайлов А. Н., Котляров Б. С., Котляров В. Б., Котляров С. Б. // Прогрессивные технологии и системы машиностроения: Международный сб. научных работ. – Донецк: ДонНТУ, 2020. Вып. 3 (70). С. 22-33. ISSN 2073-3216, (E) ISSN 2518-7120. 5. Михайлов А. Н. Анализ деталей по функциональным признакам участков и зон согласно уровню и глубине технологического обеспечения целевой функции / Михайлов А. Н., Котляров Б. С., Котляров В. Б., Котляров С. Б. // Прогрессивные технологии и системы машиностроения: Международный сб. научных работ. – Донецк: ДонНТУ, 2022. – Вып. 1 (76). – С. 43-52. ISSN 2073-3216, (E) ISSN 2518-7120. 6. Михайлов А. Н. Схема механической зубчатой КПП с переключением передач без разрыва потока передаваемой мощности / Михайлов А. Н., Котляров Б. С., Котляров В. Б., Котляров С. Б. // Машиностроение и техносфера XXI века // Сборник трудов XXVII международной научно-технической конференции в г. Севастополе 14-20 сентября 2020 г. – Донецк: ДонНТУ, 2020. – С. 230-234. ISSN 2079-2670.

УСТАНОВЛЕНИЕ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ СВЯЗЕЙ КОНСТРУКТИВНЫХ ПРИЗНАКОВ И ФОТ-ВОЗДЕЙСТВИЙ ПРИ ФОРМИРОВАНИИ ПРОФИЛЕЙ ОРЕБРЕННЫХ МЕДНЫХ ТРУБ МАСЛООХЛАДИТЕЛЕЙ

Михайлов А.Н., Котляров С.Б., Котляров В.Б. Котляров Б.С.

(ДОННТУ, ВФ УГТУ, г. Донецк, г. Москва, г. Ялта, ДНР, Россия)

Тел: +7(988)-55-40-021; +7(985) 021-79-06, +7(964) 70-45-362;

E-mail: tm@fimm.donntu.org; validarkotlarov@mail.ru; boris.kotlyarov@mail.ru

Abstract: *The paper presents the results of the analysis of the relationship of design features in certain sections of oil cooler pipes with the possibility of achieving the required performance using various POT-influences. A procedure has been developed for selecting and determining specific technological methods for shaping and forming the properties of the working surfaces of pipes, as well as each section and zone of a profiled pipe in the general coordinate system of the part.*

Key words: *copper pipe, profile formation, FOT-effect, surface properties, tools, knurling method, localization of sections and zones.*

Разработка системы технологического обеспечения процесса для изготовления изделий машиностроительного назначения на предприятии обеспечивается на основе имеющихся знаний и опыта специалистов. Такой подход является характерным и общепринятым как в единичном, так и в массовом производстве. Информация из мыслительной сферы человека переносится через посредство семиотической знаковой сферы в физическое пространство [1], в котором технологический процесс обработки реализуется на оборудовании с применением конкретного инструмента и с соблюдением заданных режимов обработки. Такой подход в разработке технологического обеспечения правильный и хорош для традиционного образа организации и порядка технической подготовки производства.

В настоящее время при достигнутом уровне развития компьютерного обеспечения инженерных работ видится возможность усовершенствовать процесс разработки технологий путем установления и формализации взаимосвязей между конструктивными требованиями и признаками предлагаемых к производству изделий, в частности – деталей машиностроительного назначения, и технологическими характеристиками особенностями частных функционально-ориентированных воздействий для обеспечения этих требований.

Целью настоящей работы является расширение путей усовершенствования подходов к разработке концепции формализации машиностроительных процессов для технологического обеспечения при изготовлении деталей с множественными элементами и отдельными зонами и участками деталей. Для достижения цели работы потребовалось провести исследования по решению ряда частных задач:

1. Адаптировать разработанные ранее в работах [1, 2, 3] правила взаимосоотношений, установленных для соответствия функционально-конструктивных признаков и ФОТ-воздействий при формировании геометрии и свойств машиностроительных деталей общего назначения с целью применения при обработке методами ХОППД;

2. Установить и конкретизировать взаимосвязи значимых конструктивных признаков оребренных труб маслоохладителей и характерных особенностей ФОТ-воздействий при формировании геометрии и свойств поверхностей профилей при оребрении труб маслоохладителей;

3. Формализовать и выразить в знаках семиотического пространства частные связи значимых конструктивных признаков деталей и ФОТ-воздействий, которые обеспечивают их формирование;

4. Предложить конкретизацию выбора частных ФОТ-воздействий при выборе материала, формирования геометрии и свойств при обработке оребренных труб маслоохладителей.

Основные функционально значимые конструктивные признаки оребренных труб маслоохладителей приведены на рис. 1. На этом же рисунке приведены эскизы элементов инструментального обеспечения в виде накатных роликов и их элементов.

Обозначенные буквами русского алфавита поверхности трубы соответствуют тем же буквам обозначения инструментальных поверхностей, с которыми поверхности контактируют при формообразовании, но с разными индексами.

Наиболее жесткие требования по точности к геометрии предъявляются к поверхностям Б, В, Г, которые являются сопрягаемыми и могут влиять на точность при сборке, а также поверхности И и К, способные влиять на габариты и прочность материала.

Соответственно более высокие требования по точности изготовления предъявляются и к соответствующим поверхностям Би, Ви, Ги, Ии и Ки, формирующим поверхности трубы.

Поверхности Д, Е, Ж не контактируют с другими деталями, однако в процессе эксплуатации контактируют с горячим маслом и от них требуется максимальная теплопередача от масла к охлажденной воде внутри труб. Вследствие этого к этим поверхностям предъявляются более высокие требования по обеспечению высокого класса чистоты поверхностей. Соответствующие поверхности Ди, Еи, Жи роликов для этого подвергаются шлифованию и последующему полированию после термообработки, чтобы достичь шероховатости поверхности 0,04 – 0, 025 мкм по ГОСТ 2789-73.

Формально соответствие функциональных конструктивных признаков деталей элементам технологических воздействий и инструментов можно представить в виде:

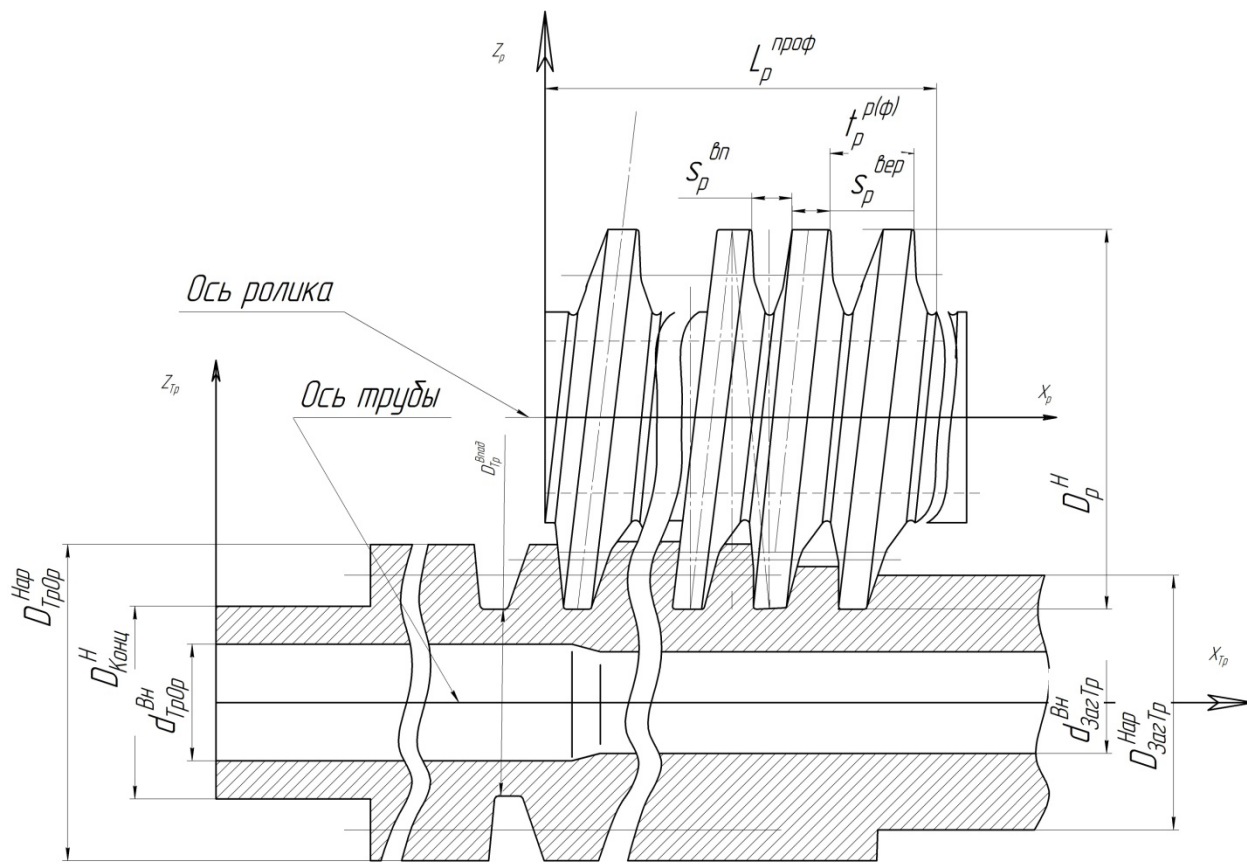
$$F_{\Pi_j}^{\Phi_i k_S^{n(3l, \text{Мак}_m, \text{Мик}_s)}} = \cup F_{\Pi_j}^{\beta_i k_S^{n(3l, \text{Мак}_m, \text{Мик}_s)}} \cup F_{\Pi_j}^{\gamma_i k_S^{n(3l, \text{Мак}_m, \text{Мик}_s)}} \cup \dots \cup F_{\Pi_j}^{\text{ВИ}_i k_S^{n(3l, \text{Мак}_m, \text{Мик}_s)}}, \quad (1)$$

где верхние индексы отражают сами функциональные признаки в левой части – для детали, а в составляющих членов правой части – технологических признаков воздействия.

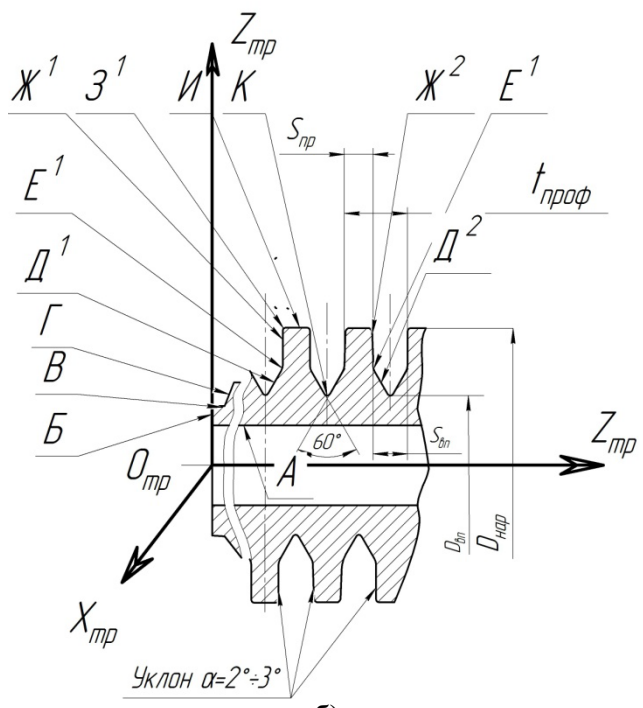
Более подробно индексация и виды воздействий, формирующих свойства поверхностей, рассмотрены ранее [2, 3]. Локализацию обрабатываемых поверхностей в заданных границах в принятых частных системах координат частей трубы и в общей системе координат трубы можно представить аналогично выражению вида [2]:

$$T_{\sum(i=1..i)}^{\Phi_{дет i}} = f \left(T_{j^z(x,y,z)}^{\phi_k^{v_i^p(x,y,z)} \omega_{x,y,z}^p} \cap T_{n^z(x,y,z)}^{\phi_k^{v_i^p(x,y,z)} \omega_{x,y,z}^p} \right), \quad (2)$$

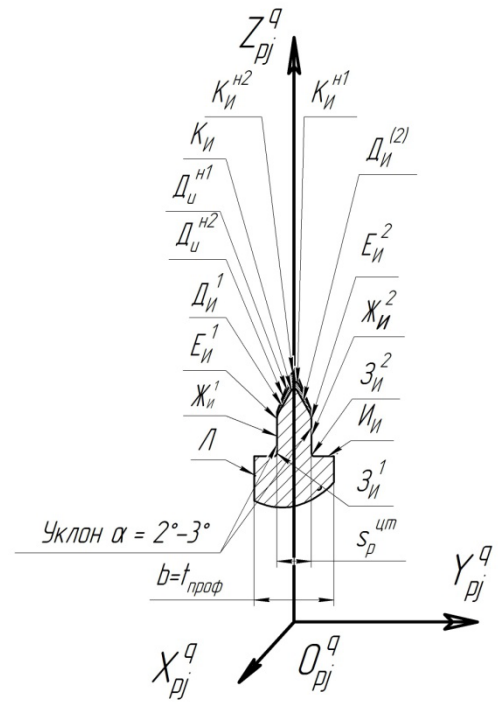
где T^{Φ} является функцией координат X, Y, Z в системе координат обрабатывающего технологического комплекса. Здесь формообразующая точка инструмента однозначно соответствует тем точкам поверхностей обрабатываемой детали, которые отражены в выражении (2).



а)



б)



в)

Рисунок 1. Формообразование профиля оребрения труб накатными роликами на заготовке:

- а) сопряжение в зоне контакта ролика и заготовки; б) получаемый профиль трубы после оребрения; в) профиль накатного ролика.

Формируемая поверхность Φ^{Π} может быть представлена в виде функционала функции поверхности Π_j детали (2) и функции движения формирующей точки T^{Φ} инструмента (3)

$$\Phi_{T_g \Sigma}^{\Pi} = F\left(\Pi_{\Sigma}^j \cap T_{\Sigma}^{\Phi}\right), \quad (3)$$

где Π_{Σ}^j и T_{Σ}^{Φ} являются обобщенными элементами выражения (2) и (3).

В общем случае в выражениях (1), (2), (3) функционально значимые признаки детали (атрибуты) в отношении и формообразования могут быть представлены путем реализации разных вариантов комплексных ФОТ-воздействий. Вариант обработки в конкретных условиях производства выбирается перебором возможных сочетаний ФОТ-воздействий на основе рекуррентно-итеративного подхода согласно критериальной оценке качества и эффективности рассматриваемой технологии.

Можно отметить, что для конкретного рассматриваемого случая формообразования и формирования свойств функционально значимых поверхностей выбор технологических воздействий, а также геометрии и свойств формирующего инструмента (роликов) выбран с учетом структуры материала инструмента, позволяющего достигать высокой твердости формообразующих поверхностей [4, 5]. При этом структура инструментального материала позволяет достичь высокой степени чистоты поверхностей, обеспечивающей высокую степень чистоты поверхностей профиля труб.

Для профилирования труб маслоохладителей выбран метод ХОППД, при котором отсутствует образование стружки и с учетом пластичности меди можно обеспечивать должную геометрию элементов детали, профиля при одновременном обеспечении свойств поверхностных слоев согласно конструкторской документации на детали.

Поверхности, не участвующие в сопряжении в маслоохладителе, освобождаются от контроля размеров, а сами размеры обеспечиваются технологически путем перемещения материала в свободные зоны под воздействием деформирующих усилий.

Сопрягаемые поверхности с диском маслоохладителя по длине обеспечиваются дополнительным калиброванием на токарно-винторезном станке. Необходимость такого калибрования вызвана тем, что в сборке задействовано от 54 до 60 труб в одном блоке в зависимости от типа маслоохладителя, и точность по длине следует обеспечивать дополнительной обработкой, т. к. при обработке методом ХОППД разница длин труб колеблется в пределах от 1 до 3 мм.

Заключение

В настоящей работе выполнен ряд конкретных исследований по усовершенствованию подходов к разработке технологических процессов и концепции формализации ФОТ-воздействий для технологического обеспечения при изготовлении деталей машиностроительного назначения с множественными элементами и отдельными зонами и участками деталей с отличающимися свойствами. Для достижения цели работы проведены исследования по решению ряда частных задач:

1. В частности, адаптированы разработанные ранее в работах [1, 2, 3] правила взаимосоотношений, установленных для соответствия функционально-конструктивных признаков и ФОТ-воздействий при формировании геометрии и свойств машиностроительных деталей общего назначения с целью применения при обработке методами ХОППД;

2. Установлены и конкретизированы взаимосвязи значимых конструктивных признаков оребренных труб маслоохладителей и характерных особенностей ФОТ-

воздействий при формировании геометрии и свойств поверхностей профилей при обрешении труб маслоохладителей;

3. Предложена формализованная запись в знаках семиотического пространства частных связей значимых конструктивных признаков деталей и ФОТ-воздействий, которые обеспечивают их формирование;

4. Предложен порядок действий в процессе конкретизации выбора частных ФОТ-воздействий при подборе материала, формирования геометрии и свойств при комплексном технологическом обеспечении изготовления обрешенных труб маслоохладителей, в т. ч. с применением методов ХОППД.

Список литературы: 1. Михайлов А. Н. Предпосылки создания новой схемы механической зубчатой КПП с переключением без разрыва потока передаваемой мощности / Михайлов А. Н., Котляров Б. С., Котляров В. Б. // Прогрессивные технологии и системы машиностроения: Международный сб. научных работ. – Донецк: ДонНТУ, 2020. Вып. 2 (69) 2020. С. 50-62. ISSN 2073-3216, (E) ISSN 2518-7120. 2. Михайлов А. Н. Проявление атрибутов деталей машин как факторов разработки функционально-ориентированных технологий / Михайлов А. Н., Котляров Б. С., Котляров В. Б., Котляров С. Б. // Прогрессивные технологии и системы машиностроения: Международный сб. научных работ. – Донецк: ДонНТУ, 2020. Вып. 3 (70). С. 22-33. ISSN 2073-3216, (E) ISSN 2518-7120. 3. Михайлов А. Н. Синтез структурных схем функционально-ориентированного технологического воздействия при формообразовании и формировании поверхностных свойств деталей КПП / Михайлов А. Н., Котляров Б. С., Котляров В. Б., Котляров С. Б. // Прогрессивные технологии и системы машиностроения: Международный сб. научных работ. – Донецк: ДонНТУ, 2021. Вып. 2 (73). С. 53-67. ISSN 2073-3216, (E) ISSN 2518-7120. 4. Дальский А. М. Технологическое обеспечение надежности высокоточных деталей машин. – М.: Машиностроение, 1975. - 223 с. 5. Справочник технолога-машиностроителя. В 2-х т. / Под ред. А. Г. Косиловой и Р. К. Мещерякова. - М.: Машиностроение, 1986. - Т.1 - 656 с.; 1985. - Т.2. - 496 с.

СИНТЕЗ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА РЕМОНТА И ВОССТАНОВЛЕНИЯ ЛОПАТОК КОМПРЕССОРА ГТД

Михайлов А.Н., Огренич Д.В., Пичко Н.С., Недашковский А.П. (ДОННТУ, УФ УГТУ, ООО «Авиатех», г. Донецк, г. Усинск, г. Снежное, ДНР, Россия)
Тел.: +79494104485; E-mail: dmitryogrenich@yandex.ru

Abstract: *This article deals with the design of a technological process based on function-oriented properties. The main stages of the synthesis of the technological process of repair and restoration of gas turbine engine blades are considered. A hypothetical algorithm for the synthesis of the structure of the technological process has been developed. Additive technologies that are used in the welding process are described.*

Key words: *Technological process, blade welding, function-oriented properties, structure synthesis.*

Введение

Лопатки во многом определяют ресурс, надежность, долговечность и качество их эксплуатации в условиях действия абразивно-эрозионного износа, температуры, влажности, твердых и жидких частиц, пыли, песка и других частиц в потоке воздуха, что приводит к уменьшению периода эксплуатации компрессора и увеличению вероятности возможного выхода из строя [1].

В технологическом процессе ремонта и восстановления лопаток применяются комплексные и комбинированные методы для восстановления поверхностей. Так применяя процессы наплавки и наварки с последующей отделочно-упрочняющей обработкой (ОУО) можно восстановить большую часть уже изношенных лопаток, тем самым повышая ресурс работы компрессора в целом. Для обеспечения процесса восстановления рабочих поверхностей лопаток необходимо обеспечить функционально-ориентированные свойства (ФОС) на всех этапах технологического процесса (ТП) ремонта и восстановления рабочих поверхностей лопаток [2, 3].

Цель работы – определение основных особенностей синтеза технологического процесса ремонта и восстановления лопаток компрессора ГТД.

Для достижения данной цели необходимо решение следующих задач: определение основ синтеза технологического процесса, разделение поверхностей лопаток на элементарные функциональные элементы, рассмотрение основных этапов технологического процесса ремонта и восстановления лопаток и выбор из их многообразия.

Основное содержание работы

Рассматривая конструкцию лопатки компрессора как изделия, его можно представить, как систему, состоящую из групп элементов. Для классификации лопаток как системы из множества функциональных элементов, воспользуемся методом морфологического синтеза технических решений. Данный метод заключается в том, что в системе выделяют несколько характеристик структурных или функциональных морфологических признаков. Каждый выделенный признак может характеризовать какой-то параметр или характеристику системы, от которых зависят решаемые задачи и достижение основной цели. По каждому выделенному морфологическому признаку составляют список его различных конкретных вариантов, альтернатив. Перебирая всевозможные сочетания альтернативных вариантов выделенных признаков, можно выявить новые варианты решения задачи, которые при простом переборе могли быть упущены [4].

Выбирая конкретные признаки, соответствующие различным элементам лопаток, можно выделить несколько групп элементов лопаток. Каждой группе элементов соответствует определенное функциональное назначение в конструкции. Примеры функциональных элементов пера лопатки на рис. 1.

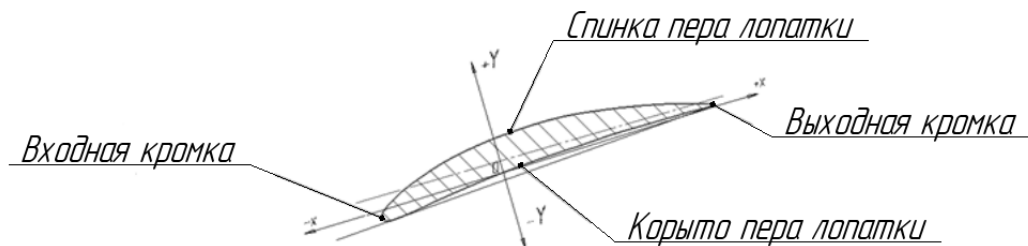


Рис. 1. Основные элементы пера лопатки компрессора

Группы функциональных элементов можно представить в виде матриц.

Группа элементов спинки пера лопатки:

$$A = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} & \cdots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} & \cdots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{m1} & a_{m2} & a_{m3} & \cdots & a_{mn} \end{pmatrix} \quad (1)$$

Группа элементов корыта пера лопатки:

$$B = \begin{pmatrix} b_{11} & b_{12} & b_{13} & \cdots & b_{1n} \\ b_{21} & b_{22} & b_{23} & \cdots & b_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ b_{m1} & b_{m2} & b_{m3} & \cdots & b_{mn} \end{pmatrix} \quad (2)$$

Группа элементов входной кромки:

$$C = \begin{pmatrix} c_{11} & c_{12} & c_{13} & \cdots & c_{1n} \\ c_{21} & c_{22} & c_{23} & \cdots & c_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ c_{m1} & c_{m2} & c_{m3} & \cdots & c_{mn} \end{pmatrix} \quad (3)$$

Группа элементов выходной кромки:

$$D = \begin{pmatrix} d_{11} & d_{12} & d_{13} & \cdots & d_{1n} \\ d_{21} & d_{22} & d_{23} & \cdots & d_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ d_{m1} & d_{m2} & d_{m3} & \cdots & d_{mn} \end{pmatrix} \quad (4)$$

Общую структуру пера лопаток можно представить совокупностью четырех групп элементов: входной кромки, выходной кромки, спинки лопатки и корыта лопатки:

$$F = A \cup B \cup C \cup D \quad (5)$$

где F – общая структура пела лопатки; A – группа элементов спинки пера лопатки; B – группа элементов корыта пера лопатки; C – группа элементов входной кромки; D – группа элементов выходной кромки.

После разделение рабочих поверхностей лопаток на элементарные функциональные элементы следует рассмотреть многообразие процесса наплавки, для реализации данного процесса в настоящее время широко используются аддитивные технологии. Технологии аддитивного производства могут быть условно разделены на четыре основных вида, отличающихся способом подвода тепла: электронно-пучковое плавление (EBM) [5]; селективное лазерное плавление (SLM) [6]; плазменное осаждение (3DPMD) [7]; проволоочно-дуговое аддитивное производство (WAAM) [8, 9]. С помощью процесса наплавки мы можем восстановить сильно изношенные поверхности лопаток. Гипотетический алгоритм наплавления рабочих поверхностей лопаток изображен на рис.2 и сам процесс можно условно разделить на четыре основных этапа:



Рис. 2. Гипотетический алгоритм наплавления лопаток

1. Осмотр рабочих поверхностей лопаток и выявление степени износа.
2. Подготовка поверхностей к наплавлению.
3. Процесс наплавления одним из множества методов.
4. Восстановления рабочего профиля лопатки.

При осмотре лопаток, особое внимание следует обратить на особенности износа под воздействием абразивно-эрозионных и коррозионных воздействий. С помощью данной информации мы можем глубже понять сущность процесса износа и описать его, следовательно, выработать функциональные зависимости степени интенсивности износа от места расположения на поверхности лопаток и глубины залегания. Так в работах

Михайлова А.Н., Михайлова Д.А., Михайлова В.А., Пичко Н.С. и других ученых, рассматривается и описывается как с помощью анализа эксплуатационных функций, которые влияют на износ и делают его более предсказуемым, мы можем регулировать технологические воздействия и тем самым повышая ресурс износостойкости и увеличивая ремонтпригодность поверхностей лопаток [10].

При подготовке поверхностей к наплавлению как правило зачищают и обрабатывают поверхности так чтобы процесс наплавления был удобным. Внимания уделяют на обработку данных полученных на предыдущем этапе, так определив какие поверхности стоит зачистить более глубоко для того чтобы не оставить материал, который получил изменение структуры, так как это может привести к ухудшению адгезионных связей уже новых наплавленных слоев к основному материалу лопатки.

В процессе наплавления главной задачей является восстановление геометрии профиля пера лопаток. Лопатки имеют сложную пространственную конфигурацию, тонкие входные и выходные кромки, поэтому это нужно учитывать при разработке процесса наплавления и выбора параметров процесса, чем более изношенная поверхность от абразивно-эрозионного износа, тем сложнее конфигурация траектории процесса наплавления, что в свою очередь увеличивает припуск наплавленного слоя для последующей механической обработки.

При восстановлении рабочего профиля лопатки применяют такие операции как фрезерование, шлифование, полирование и глянецвание [11]. Использование различных методов полирования как финишных операций при обработке и ремонте лопаток компрессоров ГТД, обеспечивают необходимую шероховатость и позволяют упрочнить поверхностный слой. На этом этапе важно получить необходимые свойства в поверхностном слое лопаток такие как: величина остаточных напряжений и глубина залегания этих напряжений. С помощью этих операций обеспечивается возможность обработки пера лопатки с регулируемым влиянием на разных участках.

Все этапы процессы ремонта и восстановления лопаток сложные и имеют развитую структуру подпроцессов и широкий выбор технологических операций, в данной работе мы сосредотачиваемся на построении и конструировании алгоритма синтеза структуры технологического процесса в целом. Упрощено технологический процесс ремонта и восстановления лопаток можно свести к таким основным этапам технологического процесса, изображенным на рис 3.

В процессе синтеза структуры технологического процесса следует применять функционально-ориентированный подход на всех этапах ремонта и восстановления лопаток. Функционально-ориентированный подход состоит из эксплуатационных функций, свойств детали и технологических влияний которые имеют взаимные связи, что позволяет получить улучшенные свойства изделий.



Рис. 3. Гипотетический алгоритм синтеза ТП ремонта и восстановления рабочих поверхностей лопаток

Для начала производится контроль лопаток, те лопатки, которые имеют сильный износ поступают на этап синтеза процесса наплавления. После наплавления лопатки проходят необходимую механическую обработку. Те лопатки, которым процесс наплавления не нужен идут на этап осмотра и далее поступают на обработку от следов повреждений и износа. Далее лопатки сортируют по наличию покрытия: на лопатки без покрытия и лопатки с ионно-плазменными покрытиями. На этот этап также поступают лопатки, которые прошли этапы наплавления и процесс механической обработки. После лопатки с ионно-плазменными покрытиями сортируют по степени износа и разрушения покрытия. Далее идет синтез процесса подготовки лопаток к нанесению покрытий, куда поступают и лопатки без покрытия. Потом происходит синтез процесса нанесения покрытий, далее лопатки проходят необходимую обработку после процесса нанесения покрытий. Затем происходит процесс контроля геометрии лопаток, после которого лопатки поступают в эксплуатацию. После эксплуатации, проводят анализ эксплуатационных функций и на основе этих данных приступают к синтезу ТП ремонта и восстановления лопаток тем самым используя функционально-ориентированный подход.



Рис. 4. Лопатки после реализации одного из возможных ТП ремонта и восстановления

Заключение

Представленные результаты направлены на определение основных особенностей синтеза технологического процесса ремонта и восстановления лопаток компрессора ГТД. В процессе синтеза структуры технологического процесса следует применять функционально-ориентированный подход на всех этапах ремонта и восстановления лопаток. Рассмотрели синтез процесса наплавки и его основные этапы, а также общий алгоритм ТП ремонта и восстановления лопаток.

Список литературы: 1. Богуслаев В.А. Технологическое обеспечение эксплуатационных характеристик деталей ГТД. Лопатки турбины. Часть I. / В.А. Богуслаев, Ф.М. Муравченко, П.Д. Жеманюк, В.И. Колесников, В.К. Яценко, А.Я. Качан, Э.И. Цивирко, С.Б. Беликов, М.Р. Орлов, В.Е. Замковой, В.Ф. Мозговой, О.В. Рубель – г. Запорожье, изд. ОАО «Мотор Сич», 2003 г. — 396 с. 2. Михайлов, Д. А. Общая методология синтеза комплексного многосвязного технологического процесса обеспечения функционально-ориентированных свойств газотурбинного двигателя структуре / Д. А. Михайлов // Прогрессивные технологии и системы машиностроения: Международный сб. научных трудов. – Донецк: ДонНТУ, 2021. - Вып. 1 (72). - С. 40 - 57. 3. Михайлов, А. Н. Основы синтеза функционально-ориентированных технологий машиностроения / А. Н. Михайлов; А. Н. Михайлов. – Донецк: Технополис, 2009. – 346 с. – ISBN 9667907244. 4. Настасенко В.А. Морфологический анализ - метод синтеза тысяч изобретений. - К.: Техніка, 1994. - 44 с. 5. Osintsev K. et al. Microstructural and mechanical characterisation of non-equiatomic Al_{2.1}Co_{0.3}Cr_{0.5}FeNi_{2.1} high-entropy alloy fabricated via wire-arc additive manufacturing // Philos. Mag. Lett. Taylor & Francis. 2021. Vol. 101. No. 9. P. 353–359. 6. Martin J.H. et al. 3D printing of high-strength aluminium alloys // Nature. Nature Publishing Group. 2017. Vol. 549. No. 7672. P. 365–369. 7. Cao L. Numerical simulation of the impact of laying powder on selective laser melting single-pass formation // Int. J. Heat Mass Transf. Elsevier Ltd. 2019. Vol. 141. P. 1036–1048. 8. Hofer K. et al. Manufacturing of titanium components with 3DPMD // Metals (Basel). 2019. Vol. 9. No. 5. 9. Розейнштейн Е.О., Гомзякова Б.В., Осинцев К.А., Коновалов С.В. Автоматизация процесса наплавки с помощью настольного 3D принтера // Вестник Сибирского государственного индустриального университета. 2021. № 4 (38). С. 31–35. 10. Методика и алгоритм синтеза технологического обеспечения комплексного повышения ресурса лопаток турбокомпрессора газотурбинной установки / Д. А. Михайлов, А. П. Пичко, Е. А. Шейко, А. Н. Михайлов // Прогрессивные технологии и системы машиностроения. – 2019. – № 2(65). – С. 16-25. – EDN VDJJRD. 11. Богуслаев В.А. Технологическое обеспечение эксплуатационных характеристик деталей ГТД. Лопатки турбины. Часть II. / В.А. Богуслаев, Ф.М. Муравченко, П.Д. Жеманюк, В.К. Яценко, А.Я. Качан, Э.И. Цивирко, С.Б. Беликов, М.Р. Орлов, В.Е. Замковой, В.Ф. Мозговой, О.В. Рубель – г. Запорожье, изд. ОАО «Мотор Сич», 2003 г. — 420 с.

XXX МЕЖДУНАРОДНАЯ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ «МАШИНОСТРОЕНИЕ И ТЕХНОСФЕРА XXI ВЕКА»: СОБЫТИЯ И ИСТОРИЧЕСКИЕ ВЕХИ

Михайлов А.Н. (ФГБОУ ВО «ДонНТУ», г. Донецк, ДНР, Россия)
Моб. тел.: +7 949 3060879, E-mail: mntk21@mail.ru

Abstract: *The presented work presents the main features of the thirty international scientific and technical conferences "Engineering and technosphere of the XXI century", which are held annually in September in the Crimea. It was noted that these conferences are based on a wide exchange of scientific and technical information, the identification of promising ways to create and develop new equipment and technologies, the development of joint scientific programs, the development of international cooperation, the establishment of business contacts and commercial relations in this area. It is shown that during the period of these conferences, leading scientists and specialists from thirty-three countries of the world took part in its work. The main plans and perspective ways of the process of holding this conference are presented.*
Key words: *scientific and technical conference, mechanical engineering, technosphere, events, history.*

В сентябре 2023 года в Крыму состоится XXX международная научно-техническая конференция «Машиностроение и техносфера XXI века». Она организована Донецким национальным техническим университетом и рядом ведущих университетов и организаций стран ЕАЭС, является традиционной и будет проводиться уже в тридцатый раз. Поэтому в этом году у конференции – Юбилей. Планируемое место проведения данной конференции - бухта Ласпи, которая находится на Южном берегу Крыма на территории Севастопольского городского совета примерно в 30 км от центра Севастополя, является одним из самых прекрасных мест Крыма.

Целью этой 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.

Основная тематика конференции определяется следующими направлениями науки и техники:

1. Современные проблемы машиностроения. Новые, нетрадиционные и наукоемкие технологии.
2. Интеллектуальные, мехатронные и специальные системы техносферы. Проблемы создания и эксплуатации современных инструментов, оборудования и технологического обеспечения в машиностроении.
3. Проблемы инженерии поверхностного слоя изделий. Управление качеством продукции и технических систем. Механизация и автоматизация производственных процессов. CAD / CAM / CAE технологии.
4. Экономические проблемы техносферы и особенности подготовки и управления производством.
5. Современные проблемы машиноведения и деталей машин.
6. Современные проблемы инженерии материалов, процессов и материаловедения в машиностроении и металлургии. Упрочняющие технологии и покрытия изделий машиностроения. Наноматериалы и нанотехнологии.
7. Техника и технологии горного дела, нефтегазовой промышленности, геологии и геодезии. Современные особенности развития горных машин и оборудования нефтегазовой промышленности.

8. Современные тенденции развития техники и технологий транспортных машин и оборудования сельского хозяйства.

9. Специальная техника и технологии техносферы. Экологические проблемы производства и техносферной безопасности.

10. Вопросы моделирования и расчета сложных технических систем.

11. Современные проблемы инженерного и профессионального образования.

Можно отметить, что начало проведения конференции было заложено в далеких 90-х годах прошлого века. А именно, в конце 1993 года инициативной группой ученых Донецкого национального технического университета было принято решение - о необходимости проведения научно технических конференций по проблемам машиностроения. Основным местом проведения этих конференций был запланирован город Севастополь. То было очень сложное время, характеризующееся началом становления независимых государств и возникающими проблемами в экономике. В те годы 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 научно-техническому прогрессу. И это планировалось выполнять, прежде всего, за счет общения и личных контактов ученых, специалистов, представителей промышленных предприятий и деловых кругов.

На основании вышесказанного, 20–23 сентября 1994 г. в городе Севастополе была проведена I научно-техническая конференция **«Новые технологии и системы об-**



Рисунок 1. Пленарное заседание участников I Международной научно-технической конференции в Севастопольском строительном техникуме в 1994 году

работки в машиностроении» (рис. 1) [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 сотрудни-

честве.

На заключительном заседании конференции было принято решение, продолжить практику проведения подобных встреч, и в 1995 году 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 международного уровня при участии ученых и специалистов из различных стран, которые проводились в городе Севастополе.

Последующие три конференции имели следующие названия [1]:

- II международная научно-техническая конференция «Прогрессивная техника и технологии машиностроения», проведена 12-15 сентября 1995 году (рис. 2);

- III международная научно-техническая конференция «Современные проблемы машиностроения и технический прогресс», проведена 10-13 сентября 1996 году (рис. 3);

- IV международная научно-техническая конференция «Прогрессивные технологии машиностроения и современность», проведена 9-12 сентября 1997 году (рис. 4).



Рисунок 2. Пленарное заседание участников II Международной научно-технической конференции в Севастопольском строительном техникуме в 1995 году

Главной особенностью этих встреч являлось то, что они были ориентированы 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.

Следует отметить, что для участия в этих конференциях уже прибывают делегаты уже из семи – восьми стран мира, а именно: Беларуси, России, Украины, Латвии, Литвы, Чехии, Великобритании и Польши. При этом большую помощь в организации этих конференций оказывают руководители различных предприятий и организаций, которые также прибывают на встречу и принимают активное участие в их работе. А также существенную поддержку в работе конференции проявила Донецкая областная государственная администрация.

Можно заметить, 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 с общим названием «Ма-

шиностроение и техносфера на рубеже XXI века» [1, 2].



Рисунок 3. Участники III Международной научно-технической конференции на территории Севастопольского строительного техникума в 1996 году

Основной особенностью работы этих конференций являлось более широкое привлечение ведущих ученых и специалистов из различных стран, способствование развитию международного сотрудничества, более широкое привлечение к работе конференции молодежи, специалистов с промышленных предприятий и организаций, а также широкий обмен инфор-

мации 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. В 2000 году на VI международной научно-технической конференции была создана международная общественная организация Международный союз машиностроителей. А также в 2000 году был начат выпуск студенческого научно-технического журнала «Инженер» [3]. Выполнялась совместная организация с другими университетами других конференций, семинаров и встреч, в том числе и студенческих конференций.

Замечу, что в целом все конференции, проводимые в городе Севастополе, осуществлялись творчески 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 ... 2013 годах были проведены IX ... XX международные научно-технические конференции «Машиностроение и техносфера XXI века» [1]. Все двенадцать этих конференций проводились в городе Севастополе на базах Севастопольского делового и культурного центра, Севастопольского строительного техникума, Севастопольского центра профессионально-технического образования и пансионата «Песчаная бухта» (старое название - пансионат «Строитель»).

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. Этот период работы конференций характеризуется активным развитием международного сотрудничества между участниками конференций, организациями различных стран, взаимными поездками участников конференций на международные конференции, присвоением почетных званий, и в целом консолидацией ее участников.



Рисунок 4. Участники XIV Международной научно-технической конференции после Заключительного заседания в Пансионате «Строитель» в 2007 году (г. Севастополь)

В 2014 году на 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 городов и поселков, образовались Донецкая и Луганская Народные Республи-

ки.

В этих условиях, учитывая важность и значимость традиций проведения конференций в городе Севастополе, организационный комитет конференции принял решение продолжить традиции их проведения и начал подготовку традиционной встречи.

При поддержке Министерства образования и науки Донецкой Народной Республики, 15 -20 сентября 2014 года в городе Севастополе была проведена традиционная XXI международная научно-техническая конференция «Машиностроение и техносфера XXI века». При этом пленарные и секционные заседания проходили в учебных корпусах Севастопольского промышленно-технологического колледжа имени Маршала инженерных войск А.В. Геловани. Значительную поддержку этой конференции оказало Правительство города Севастополя и директор колледжа, заслуженный работник образования, канд. пед. наук Медведь Валерий Владимирович.

На конференцию прибыли участники из Донецкой и Луганской Народных Республик, а также из пяти стран, 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 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 ... XXVI международные научно-технические конференции «Машиностроение и техносфера XXI века», которые проводились в сентябре 2015 ... 2019 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 техносферы, определить вектор их прогрессивного развития, а также выявить перспективные варианты создания лучших мировых образцов технологий и технологических машин. При этом пленарные и секционные заседания проходили на площадях Севастопольского государственного университета и Севастопольского промышленно-технологического колледжа имени Маршала инженерных войск А.В. Геловани.



Рисунок 5. Пленарное заседание участников XXI Международной научно-технической конференции в Севастопольском промышленно-технологическом колледже им. Маршала инженерных войск А.В. Геловани в 2014

- при участии ученых и специалистов из Беларуси, России, Казахстана, Армении, Вьетнама, ДНР и ЛНР. Все эти конференции можно характеризовать творческим участием молодежи, аспирантов и докторантов, а также ведущих ученых и специалистов из различных университетов и организаций. В период работы этих конференций происходил широкий обмен информации научно-технического характера между участниками конференции.

В период с 11 ... 17 сентября 2023 года, в пансионате «Изумруд», планируется проведение юбилейной XXX международной научно-технической конференции «Машиностроение и техносфера XXI века». Эта конференция будет проходить при содействии Донецкого регионального отделения «Союз машиностроителей России».

Подводя итоги проведения тридцати международных научно-технических конференций в городе Севастополе и в Крыму к основным результатам работы можно отнести следующее:

1. Проведено тридцать международных научно-технических конференций в области машиностроения и техносферы, которые способствовали ученым и специалистам университетов и организаций вести широкий обмен научно-технической информацией, определению перспективных путей создания и развития новой техники и технологий, разработку совместных научных программ, развитие международного сотрудничества, установить деловые контакты и коммерческие связи в данной области..

2. В работе конференций приняло участие около 5750 участников, это молодые и ведущие ученые, специалисты из 33 стран мира.

3. Для работы конференций издано более 100 сборников научных трудов конференции, в которых опубликовано более 7000 тезисов докладов и статей участников конференции.

4. На конференции рассмотрены, обсуждены и рекомендованы к защите более 50 докторских и 150 кандидатских диссертационных работ.

С 2020 года международные научно-технические конференции «Машиностроение и техносфера XXI века» проводятся на площадях пансионата «Изумруд», расположенных в Бухте Ласпи на Южном берегу Крыма на территории Севастопольского городского совета. Поэтому здесь, в период 2020 ... 2023 года, на Южном берегу Крыма были проведены XXVII, XXVIII и XXIX международные научно-технические конференции. Можно отметить, что работа этих конференций также проходила в активной творческой обстановке

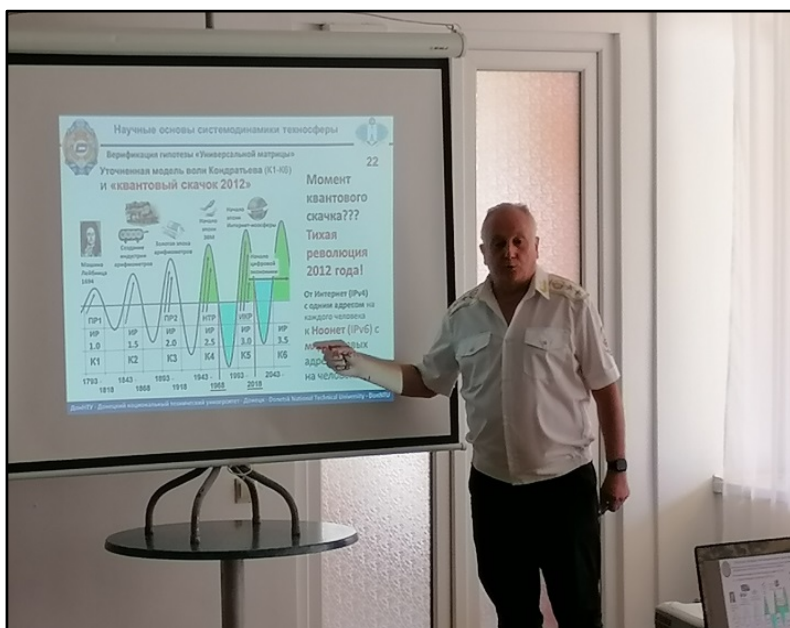


Рисунок 6. Доклад ректора Донецкого национального университета на Пленарном заседании на XXIX Международной научно-технической конференции «Машиностроение и техносфера XXI века» в 2022 году

5. На основе предложений и рекомендаций участников данной конференции, начато издание ряда научно-технических трудов и журналов [1, 2, 3].

6. Начато проведение ряда научно-технических, научно-практических, методических конференций и семинаров в различных странах мира.

7. На базе этой конференции в 2000 году была создана Международная общественная организация «Международный союз машиностроителей», в которую входили представители из 21 страны, и работало 20

представительств в различных странах мира (в 2014 году ее деятельность приостановлена). В настоящее время, в Донецкой народной республике работает Донецкое региональное отделение «Союз машиностроителей России».

8. Благодаря ежегодному проведению конференции и реализации встреч участников конференции организованы совместные международные проекты, выполняются договоры, 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.

В заключении можно отметить, что организационный комитет уверен, что эта встреча также традиционно пройдет творчески и плодотворно, будет способствовать развитию новой техники и технологий, а также даст необходимый импульс для дальнейшего развития машиностроения и техносферы в условиях видоизменяющейся глобальной экономики.

Список литературы: 1. Сборники трудов: Международной научно-технической конференции «Машиностроение и техносфера XXI века». [Электронный ресурс] – Донецк: ДонНТУ, 1993 ... 2023. – Режим доступа : <http://konf-sev.donntu.ru> 2. Международные сборники научных трудов ДонНТУ: Прогрессивные технологии и системы машиностроения. [Электронный ресурс] – Донецк: ДонНТУ, 1994 ... 2023. – Режим доступа : <http://ptsm.donntu.ru> 3. Международный студенческий научно-технический журнал «ИНЖЕНЕР». [Электронный ресурс] – Донецк: ДонНТУ, 2000 ... 2023. - Режим доступа : <http://engineer.donntu.ru>

КЛАССИФИКАЦИЯ ВАРИАНТОВ ФУНКЦИОНАЛЬНО-ОРИЕНТИРОВАННЫХ СВОЙСТВ ЭЛЕМЕНТОВ И СТРУКТУРЫ ВЕРТОЛЕТНОГО ГАЗОТУРБИННОГО ДВИГАТЕЛЯ

Михайлов Д. А., Витренко В. А., Михайлов А. Н., Михайлов В. А., Шейко Е. А.
(АГЗ МЧС ДНР, ЛГУ им. В. Даля, ДонНТУ, ВФ УГТУ, г. Донецк, г. Луганск, г. Воркута,
Россия), Моб. тел.: +7 949 3821135, E-mail: mntk21@mail.ru

Abstract: *In the presented work, the features of the operation of the structure of helicopter gas turbine engines are considered. A general classification of functionally oriented properties for elements and parts of an aircraft engine and for its entire structure is presented. Structural-logical formulas of technological impact schemes for the formation of functionally oriented properties with changing parameters have been developed.*

Key words: *gas turbine engine, details, structure, functionally oriented properties, classification, structural logic formulas.*

1. Введение

Авиационные газотурбинные двигатели (ГТД) [1] широко используются в качестве силовых установок для современных вертолетов. Это обусловлено их высокими технико-экономическими показателями и эксплуатационными свойствами. Вместе с тем, для повышения их эффективности используются различные методы и технологии изготовления деталей [2], которые позволяют решать вопросы дальнейшего повышения качества ГТД. Однако, дальнейшее развитие науки и техники требует значительного повышения эксплуатационных свойств ГТД, особенно это относится к вертолетным авиационным двигателям.

В последнее время, для повышения ресурса и эксплуатационного потенциала вертолетных ГТД предлагается использование функционально-ориентированных свойств (ФОС) [3, 4, 5] элементов и деталей авиационных двигателей. ФОС элементов и деталей ГТД значительно повышают их эксплуатационные свойства, а также позволяют решать вопросы повышения эксплуатационных свойств для всей структуры двигателя. Решение этих вопросов достаточно полно представлено в работах [4, 5, 6]. Однако, выполненные исследования показали, что формирование ФОС элементов ГТД и его структуры это многовариантный процесс. Он может выполняться различными методами и технологиями. Поэтому этот процесс предварительно требует наличия общих классификаций ФОС для элементов или деталей и всей структуры двигателя. Поэтому в данной работе представлена общая классификация ФОС для элементов и всей структуры вертолетного ГТД, которая бы позволила проектировщикам технологий решать конкретные вопросы обеспечения необходимых свойств для авиационного двигателя.

Целью данной работы является анализ особенностей эксплуатации вертолетного ГТД, выполнение общей классификации ФОС для элементов структуры двигателя и всей его структуры в целом, а также представление некоторых структурно-логических формул ФОС деталей.

В соответствии с этой целью определены следующие задачи работы: выполнить анализ особенностей эксплуатации элементов структуры вертолетного ГТД; разработать общую классификация ФОС для элементов и для всей структуры вертолетного ГТД; разработать варианты структурно-логических формул схем технологического воздействия для формирования функционально-ориентированных свойств с изменяющимися параметрами.

Эти задачи решаются в данной работе.

2. Особенности действия эксплуатационных воздействий и формирования ФОС

В процессе эксплуатации вертолетного ГТД на элементы структуры двигателя действует целый ряд эксплуатационных воздействий (ЭВ), а именно: абразивно-эрозионные, температурные, физические, химические, механические, солевые, акустические, комбинированные и другие воздействия. Эти воздействия приводят к износу и разрушениям элементов структуры вертолетного ГТД. При этом они действуют еще неравномерно, и по элементам, и структуре двигателя, которые могут характеризоваться как неравномерности R -родов.

Можно отметить, что главной особенностью формирования ФОС для ГТД является то, что процесс обеспечения ФОС нужно выполнять по элементам и всей структуре R -уровней с учетом действия неравномерных эксплуатационных воздействий R -родов. При этом процесс формирования ФОС структуры может выполняться, например, на базе следующих условий:

- первое условие направлено на обеспечение параметров эксплуатационных свойств (ЭС) всего вертолетного ГТД: заданные, требуемые, предельные, ограниченные и другие его ЭС;

- второе условие направлено на обеспечение закономерностей распределения ЭС по элементам всей структуры ГТД, которые могут быть вариантными, а именно иметь равные, кратные или функционально-зависимые эксплуатационные свойства [4, 5].

При этом с учетом сложности структуры ГТД, которую можно привести к R -уровням, ФОС структуры вертолетного двигателя можно формировать R -видов, соответствующих этим уровням.

3. Общая классификация ФОС вертолетного ГТД

Классифицировать – это значит, на множестве объектов находить подмножества объектов по каким-то параметрам или поведению. В данном случае классификация выполняется по свойствам, а именно ФОС элементов и структуры вертолетного ГТД. На основании этого в данной работе разработана общая классификация ФОС вертолетного ГТД, которая представлена на рис. 1.

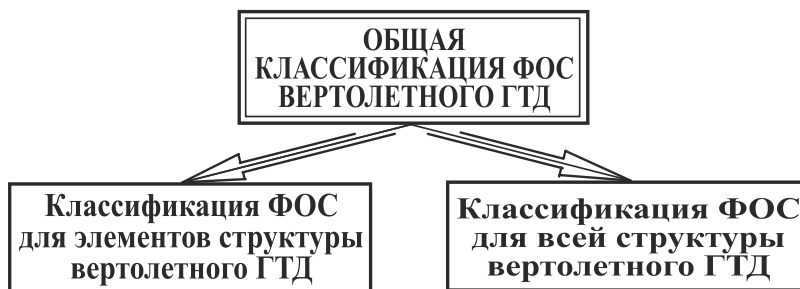


Рисунок 1. Общая классификация ФОС вертолетного ГТД

Предлагаемая общая классификация структурируется на базе следующих классификаций:

- классификация ФОС для элементов структуры вертолетного ГТД;

- классификация ФОС для всей структуры вертолетного ГТД.

Можно отметить, что классификация ФОС для элементов структуры вертолетного ГТД (рис. 2) выполняется следующим образом:

- в зависимости от количества применяемых принципов ориентации параметров ФОС (группа особых принципов ориентации ФОС и технологических воздействий (ТВ) в зависимости от особенностей ЭВ);

- в зависимости от вида изменяющихся параметров технических свойств (ТС) ФОС;

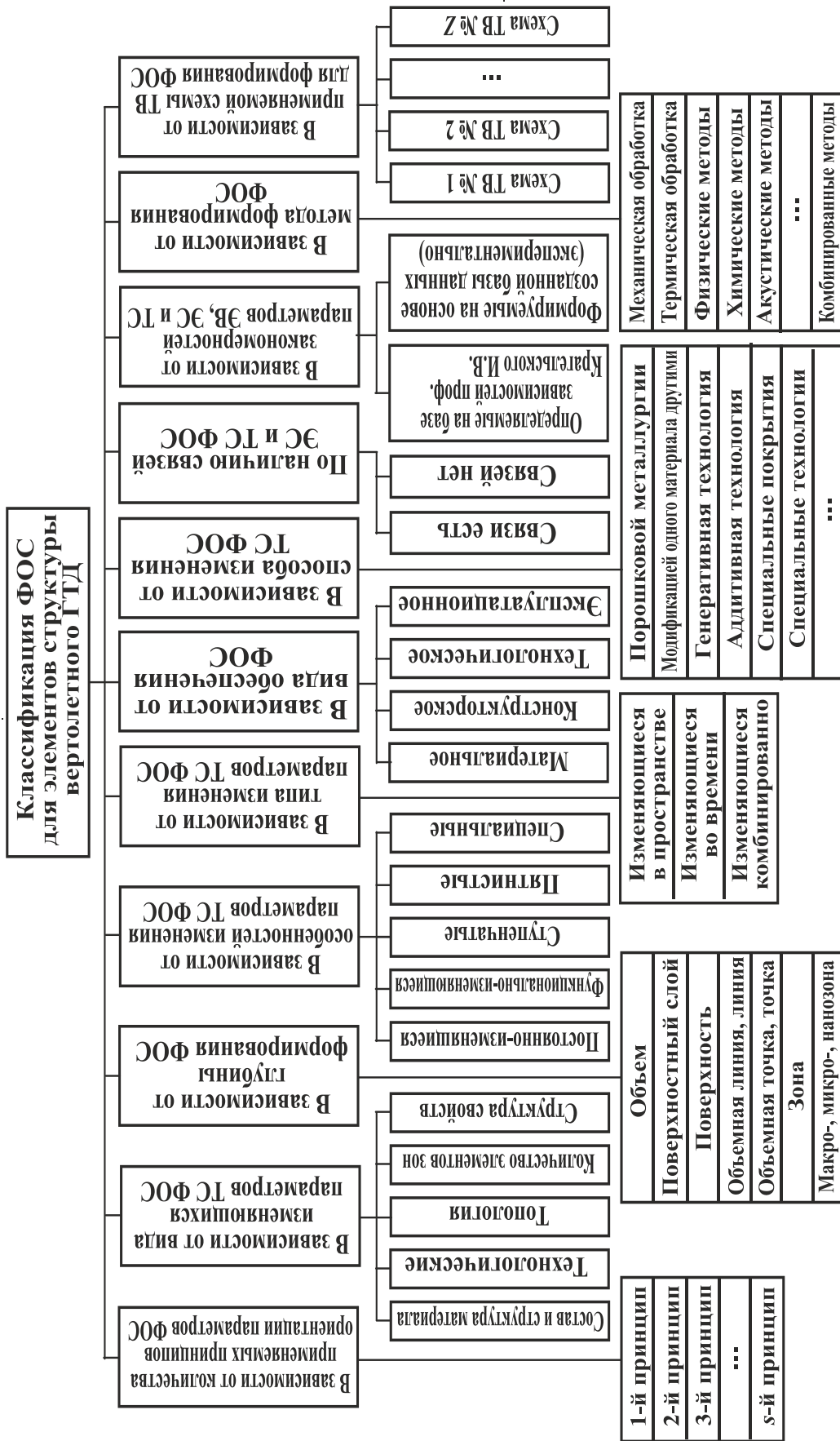


Рисунок 2. Классификация ФОС для элементов структуры вертолетного ГТД

Рисунок 3. Классификация для всей структуры вертолетного ГТД



- в зависимости от глубины формирования ФОС;
- в зависимости от особенностей изменения параметров ТС ФОС;
- в зависимости от типа изменения параметров ТС ФОС;
- в зависимости от вида обеспечения ТС ФОС;
- в зависимости от способа изменения ТС ФОС;
- по наличию связей ЭВ, ЭС и ТС;
- в зависимости от закономерностей параметров ЭВ, ЭС и ТС;
- в зависимости от метода формирования ФОС;
- в зависимости от применяемой схемы технологического воздействия (ТВ) для формирования ФОС.

Каждый из элементов этой классификации имеет многовариантный состав.

Классификация ФОС для всей структуры вертолетного ГТД (рис. 3) включает следующие составляющие:

- в зависимости от уровней структуры ГТД;
- в зависимости от обеспечения ЭС всего ГТД;
- в зависимости от особенностей распределения ЭС по всей структуре ГТД;
- в зависимости от закономерностей параметров ЭВ, ЭС, ТС и структуры;
- по способу распределения ФОС по структуре;
- по наличию связей между параметрами ЭС и ТС ФОС;
- по степени обеспечения ФОС структуры;
- в зависимости от применяемой технологии.

При этом также каждый из элементов этой классификации имеет многовариантный состав.

Можно отметить, что данная разработка общей классификации ФОС вертолетного ГТД направлена на конечную цель – создание полного множества возможных вариантов ФОС элементов и структуры авиационного двигателя. А это необходимо для дальнейшего выбора лучшего варианта ФОС конкретного элемента структуры авиационного двигателя, например методом морфологического анализа, методом процессно-событийного синтеза или методом искусственного интеллекта.

4. Структурно-логические формулы схем технологических воздействий для формирования ФОС элементов ГТД

В работе разработаны структурно-логические формулы схем технологического воздействия для формирования ФОС с изменяющимися параметрами свойств по элементам структуры ГТД. Эти формулы разработаны для поверхностей деталей с изменяющимися техническими параметрами свойств, на которые действуют неравномерные эксплуатационные функции, которые позволяют компенсировать эти неравномерности за счет неравномерных адекватных свойств и обеспечить, например, равный износ поверхностного слоя детали. В данном случае, особенности формирования ФОС определяются группой особых принципов ориентации технологических воздействий в зависимости от особенностей действия эксплуатационных воздействий (ЭВ). Структурно-логические формулы схем технологического воздействия для формирования ФОС по поверхности имеют следующий вид [3]:

- прерывисто-прерывистые свойства, изменяющиеся по координатам s и t

$$S_1^{TB} \rightarrow \left\{ \left[m_{s,t}^{TB}, e_{s,t}^{TB}, i_{s,t}^{TB} \right], \left[\begin{matrix} p & k \\ \vee & \vee \\ t=1 & s=1 \end{matrix} (dl_s \times dl_t) \right] \right\}; \quad (1)$$

- непрерывно-непрерывные свойства, изменяющиеся по координатам s и t

$$S_2^{TB} \rightarrow \left\{ \left[m_{s,t}^{TB}, e_{s,t}^{TB}, i_{s,t}^{TB} \right], \left[\bigwedge_{t=1}^{\infty} \bigwedge_{s=1}^{\infty} (dl_s \times dl_t) \right] \right\}; \quad (2)$$

- одновременно-одновременные свойства, изменяющиеся по координатам s и t

$$S_3^{TB} \rightarrow \left\{ \left[m_{s,t}^{TB}, e_{s,t}^{TB}, i_{s,t}^{TB} \right], \left[\bigwedge_{s=1}^{\infty} dl_s \times \bigwedge_{t=1}^{\infty} dl_t \right] \right\}; \quad (3)$$

- непрерывно-прерывистые свойства, изменяющиеся по координатам s и t

$$S_4^{TB} \rightarrow \left\{ \left[m_{s,t}^{TB}, e_{s,t}^{TB}, i_{s,t}^{TB} \right], \left[\bigvee_{t=1}^p \bigwedge_{s=1}^{\infty} (dl_s \times dl_t) \right] \right\}; \quad (4)$$

- прерывисто-одновременные свойства, изменяющиеся по координатам s и t

$$S_5^{TB} \rightarrow \left\{ \left[m_{s,t}^{TB}, e_{s,t}^{TB}, i_{s,t}^{TB} \right], \left[\bigvee_{s=1}^k (dl_s \times \bigwedge_{t=1}^{\infty} dl_t) \right] \right\}; \quad (5)$$

- непрерывно-одновременные свойства, изменяющиеся по координатам s и t

$$S_6^{TB} \rightarrow \left\{ \left[m_{s,t}^{TB}, e_{s,t}^{TB}, i_{s,t}^{TB} \right], \left[\bigwedge_{s=1}^{\infty} (dl_s \times \bigwedge_{t=1}^{\infty} dl_t) \right] \right\}, \quad (6)$$

где $S_1^{TB}, S_2^{TB}, S_3^{TB}, S_4^{TB}, S_5^{TB}, S_6^{TB}$ - номер поверхностной схемы технологических воздействий (ТВ), соответственно;

$\left[m_{s,t}^{TB}, e_{s,t}^{TB}, i_{s,t}^{TB} \right]$ - кортеж технологических воздействий материального, энергетического и информационного характеров, соответственно, по координатам s и t ;

$(dl_s \times dl_t)$ - обозначение с помощью декартова произведения элементарной площади по координатам s и t ;

k - количество элементарных поверхностных зон в направлении s ;

p - количество элементарных поверхностных зон в направлении t .

В выражениях (1) ... (6) технологические воздействия материального, энергетического и информационного характеров имеют переменный характер, и определяются координатами s и t их выполнения, в соответствии с группой особых принципов ориентации параметров, свойств и воздействий. Они определяются с помощью отображений, которые могут быть представлены следующими выражениями:

$$\left. \begin{aligned} m_{s,t}^{TB} &= \chi_m^{TB} : \exists B(s,t) \neq const; \\ e_{s,t}^{TB} &= \chi_e^{TB} : \exists B(s,t) \neq const; \\ i_{s,t}^{TB} &= \chi_i^{TB} : \exists B(s,t) \neq const, \end{aligned} \right\}$$

где $m_{s,t}^{TB}$, $e_{s,t}^{TB}$, $i_{s,t}^{TB}$ - параметры материальных, энергетических и информационных потоков технологических воздействий, соответственно, изменяющихся в зависимости от координат s и t поверхности элемента;

χ_m^{TB} , χ_e^{TB} , χ_i^{TB} - функции от отображений особенностей технологических воздействий на параметры свойств;

$ЭВ(s,t)$ - параметры эксплуатационных воздействий по координатам s и t поверхности элемента.

Можно отметить, что в работе разработаны также структурно-логические формулы схем технологического воздействия для формирования ФОС по объему детали. Однако, в рамках данной работы они не представлены.

С помощью разработанных структурно-логических формул схем технологического воздействия для формирования ФОС обеспечивается возможность проводить анализ возможных вариантов и определять рациональные их параметры для конкретных элементов структуры вертолетного ГТД.

5. Заключение

Таким образом, в представленной работе выполнен анализ особенностей эксплуатации вертолетного ГТД. При этом установлено, что на структуру авиационного двигателя действует комплекс неравномерных эксплуатационных воздействий R -родов, для компенсации которых необходимы ФОС элементов и всей структуры ГТД.

В работе представлена общая классификация ФОС для элементов и всей его структуры в целом. Эта классификация позволяет решать вопросы, связанные с особенностями обеспечения ФОС по отдельным деталям и всей структуре двигателя.

Разработанные структурно-логические формулы схем технологических воздействий позволяют решать вопросы обеспечения ФОС отдельным элементам ГТД и отыскивать их рациональные варианты при обеспечении эксплуатационных свойств вертолетного ГТД.

Список литературы: 1. Григорьев, В. А. Вертолетные газотурбинные двигатели. / В. А. Григорьев [и др.]. – М. : Машиностроение, 2007. – 491 с. 2. Демин, Ф. И. Технология изготовления основных деталей газотурбинных двигателей: Учеб. пособие. / Ф. И. Демин, Н. Д. Проничев, И. Л. Шитарев. – М. : Машиностроение, 2002. – 328 с. 3. Михайлов, А. Н. Основы синтеза функционально-ориентированных технологий. / А. Н. Михайлов. – Донецк : ДонНТУ, 2009. – 346 с. 4. Михайлов, А. Н. Методологические и технологические основы обеспечения функционально-ориентированных свойств структуры элементов газотурбинного двигателя / А. Н. Михайлов, Д. А. Михайлов, Н. С. Пичко, Е. А. Шейко // Научно-технические основы в машиностроении. – Брянск : БГТУ, 2022. - № 9 (135). – С. 38-48. 5. Михайлов, А. Н. Новые тенденции в повышении ресурса газотурбинных двигателей и установок на основе обеспечения функционально-ориентированных свойств / А. Н. Михайлов, В. А. Михайлов, Д. А. Михайлов [и др.]. // Сборник трудов международной научно-технической конференции «Техническая эксплуатация водного транспорта: проблемы и пути развития» в г. Петропавловск-Камчатский 17-19 октября 2018 г. – Петропавловск-Камчатский: КамчатГТУ, 2019. – Ч. 2. – С. 106-111. 6. Патент № 2718877 RU. Кл. С23С 14/04. Способ нанесения функционально-ориентированного износостойкого покрытия на лопатку газотурбинного двигателя / А. Н. Михайлов, Д. А. Михайлов, В. А. Михайлов [и др.]. Заявка № 2018107164 от 26.02.2018. – Бюл. № 11, 15.04.2020. – 7 с.

МОТИВАЦИЯ И ФАКТОРЫ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИЕ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИЗУЧЕНИЯ ИНОСТРАННЫХ ЯЗЫКОВ В ТЕХНИЧЕСКИХ ВУЗАХ

Мороз О.К. (ФГБОУ ВО «Донецкий национальный технический университет», г. Донецк)

Тел./Факс: +7 (856) 301-09-47 E-mail: okmoro@rambler.ru

Abstract: *The authors tried to observe the influence of the relations between the teacher and a student on the success in mastering of foreign languages. And they tried to pay attention to the necessity of intensification one of the most important functions of the university - educational that is the necessary condition for the transition of higher education to the motivational selfteaching as a part of international educational integration. The authors especially pay attention to the problem of humanisation of higher education.*

Key words: *higher education, foreign language, student, technical university, selfteaching.*

Тенденция к интеграции нашего образования в международное пространство особенно остро ставит вопрос об овладении иностранными языками в технических вузах, где число обязательных учебных часов зачастую ограничено двумя-четырьмя семестрами изучения иностранного языка (далее – И.Я.).

«Общество стало глубже осознавать, что знание иностранного языка дает бесспорные преимущества: лучшие шансы интегрироваться в стремительно меняющееся общество открытого типа с рыночной экономикой, перспективное трудоустройство, полноценное потребление культуры мировых цивилизаций, не адаптированной, а из первых рук, широкое понимание мира и мировых проблем. Вместе с этим осознанием возникает необходимость в усовершенствовании массового обучения иностранному языку. Общеизвестно, что в настоящее время потребность в специалистах, владеющих иностранным языком, значительно возросла. Неслучайно поэтому, вузовский курс иностранного языка носит профессионально-ориентированный характер, его задачи определяются, в первую очередь, коммуникативными и познавательными потребностями специалистов этого профиля» [4, 1].

О факторах, от которых зависит успех овладения иностранным языком и идет речь в этой статье.

В лингвистической среде есть мнение, что славяне, и особенно русские менее способны к языкам, чем другие народы. Им возражают специалисты, говоря о том, что: «Худшее владение языками, если таковое и наблюдается, может объясняться тем, что русские, в отличие от европейцев, не имеют достаточной разговорной практики, Они не могут массово и беспрепятственно переезжать из одной страны в другую, начиная со школьного возраста. И не могут свободно и много общаться с иностранцами на своей территории, поскольку в преобладающем большинстве городов жители других стран вообще не появляются. Кроме того, у нас гораздо меньше смешанных браков, чем за рубежом, где распространена ситуация, когда дети учатся говорить одновременно на двух языках» [2,3].

Есть ли на самом деле студенты, «неспособные» к овладению иностранными языками?

Таковых нет, а если и есть то в таком мизерном количестве, что вряд ли можно их даже обнаружить в студенческой среде. «Скорее, можно говорить о том, что в силу индивидуальных особенностей мозга, сознания и характера, существуют люди, способные к изучению иностранного языка в большей, или меньшей степени».

Если цель – владеть языком так, как владеют им носители, то достичь такого уровня вне живой языковой среды невозможно. Однако более, или менее свободно выражать свои мысли и понимать смысл речи на слух может любой выпускник языкового вуза. Количество людей, считающих себя неспособными к иностранному, значительно превышает число истинных антиполиглотов. Причину этого специалисты видят в некогда принятой школьной методике обучения, из-за которой у многих жителей бывшего СССР выработалась ложная уверенность в своих невысоких способностях. Кинестетики – те, кто абсолютно все воспринимает через такие органы чувств, как осязание и обоняние, такие люди совершенно неспособные к изучению иностранных языков, в человеческой популяции составляют всего лишь 5-7% [3, 2].

Тем не менее, другие специалисты считают, что при изучении иностранного языка необходимо пользоваться и визуальной, и аудиальной, и кинестетической памятью. «Как раз они и помогают мозгу создавать объемные образы смысла слов и фраз. Ведь мы запоминаем только чувства, состояния, в которых они возникали, и соответственно зрительные образы – картины ситуации, к которой это произошло и звуки, и ощущения. Слова и фразы в нашем мозгу связаны в первую очередь с нашими чувствами, затем с визуальными образами и звуками. Вот почему для запоминания и пополнения словарного запаса нужно использовать воображение. Именно оно помогает работать с образами, помогает мозгу их создавать. Станиславский был в этом большой мастер. Воображение может вызвать чувства не менее сильные, чем живой опыт» [1, 2].

Итак, все это говорит о недостатке мотиваций, а не способностей.

Вопрос о мотивации студента на изучение И.Я. в настоящее время стоит особенно остро. Зачастую причиной неуспешного овладения И.Я. студентами называют устаревшую методику преподавания И.Я. Порой речь идет о наличии, или отсутствии способностей к языкам у студентов, у которых «вторичность» получения языковых компетенций по отношению к техническим дисциплинам, «подмывает» внутреннюю мотивацию и порождает, а вернее, не порождает внутреннего поиска внеаудиторных видов деятельности. Ограниченность сетки часов не позволяет, да и не предусматривает у этих студентов «соприкосновения» с историей языка, которое у студентов-филологов выстраивает логическую базу правильного написания слов, без которой слово приходится зубрить. («Ученые давно и настойчиво не рекомендуют зубрить что бы то ни было. Запоминаются все равно только те образы, которые вызывают в нас чувства и эмоции Зубрежка, особенно очень настойчивая, конечно тоже вызывает и эмоции, и чувства. Правда, разрушительные для целой кучки клеток нашего организма, влияющие и на эмоциональное состояние, и на здоровье. Ведь для запоминания имеются все каналы восприятия, весь организм и воображение. Запоминать не надо, но любое восприятие должно быть максимально полным. Мы запоминаем не тогда, когда мы вводим информацию, а когда извлекаем. Т.е. мы запоминаем, когда вспоминаем. Механическое повторение вообще вредно – оно разрушает память, разрушает мышление») [1,2]. Все это говорит о том, что у преподавателей неязыковых вузов гораздо меньше возможностей для пробуждения у студентов внутренней мотивации. И порой у них в арсенале только внешняя и, что самое худшее – отрицательная мотивация.

В таких условиях перед преподавателями вузов встает вопрос о поисках дополнительных мотиваций, которые бы «запустили» процесс успешного овладения И.Я. Из популярных в последнее время довольно сильных факторов для возникновения новых видов мотиваций, можно назвать следующие (опять же слово специалистам):

- инновационные образовательные технологии (например, технология «Европейского Языкового Портфеля»);
- кредитно-модульная система организации учебного процесса;

- компетентностно-ориентированное обучение;
- асинхронная организация учебного процесса;
- система академического консультирования («тьюторства»).

1. Технология «Европейского Языкового Портфеля»

Структурно-содержательное наполнение Европейского Языкового Портфеля, (далее – ЕЯП), открывает доступ ко всему языковому опыту студента, начиная с детских лет и заканчивая временем обучения в вузе, и сопровождается мониторингом, включая регулярное индивидуальное консультирование преподавателем, что в результате позволяет каждому студенту создать индивидуальный маршрут овладения иностранным языком. Последовательное заполнение блоков ЕЯП на основе рефлексии собственного языкового опыта и последующее, совместное с преподавателем, планирование языковой деятельности в соответствии с индивидуальными способностями и потребностями раскрывают возможности для личностного саморазвития, способствуя формированию навыков самооценки, самоконтроля и самостоятельной работы в целом, а также развитию ключевых профессионально-коммуникативных компетенций будущего специалиста, таких как критическое мышление, способность к принятию самостоятельных решений и др. [5].

2. Кредитно-модульная система организации учебного процесса.

Кредитно-модульная система организации учебного процесса позволяет проектировать индивидуальные образовательные траектории с учетом трудозатрат студентов на основе ECTS [1] и обеспечивает возможность прохождения учебного материала как по линейной траектории (последовательное прохождение модулей), так и по разветвленной, в рамках которой те или иные модули могут быть исключены или дополнительно включены в программу в зависимости от исходной подготовки студента и его индивидуальных интересов [2]. Это позволяет преподавателю учитывать реальный уровень владения И.Я.

3. Компетентностно-ориентированное обучение.

Результативным в плане проектирования индивидуальных учебных маршрутов может стать **структурирование компетентностно-ориентированных курсов на кредитно-модульной основе**. В качестве примера такого структурирования можно привести опыт разработки автором практико-ориентированного курса («профессионально-языковой портфель студентов-физиков» [2,4]) и его апробации в бакалаврате физического факультета ЮФУ. Результаты апробации свидетельствуют о том, что проектирование индивидуальных учебных траекторий способствует значительному росту мотивации к изучению не только иностранного языка, но и профильных дисциплин, причем даже у самых слабых студентов (уровень языковых компетенций А1) возникает желание «поднять планку» и достичь более высокого уровня профессионально-языковой компетентности.

4. Асинхронная организация учебного процесса.

Асинхронная организация учебного процесса на основе сочетания сетевых компьютерных технологий и мультимедийных курсов также позволяет проектировать индивидуальные траектории обучения, причем «в удобное время и в удобном месте», с возможностью модификации учебного материала и технических решений. Критериями качества при этом могут выступать результаты самой деятельности, диагностика причин их достижения и направленность на дальнейшую оптимизацию» [2, 1].

Список литературы: 1. Бадарч Д., Актуальные вопросы интернациональной гармонизации образовательных систем: Монография. – М.: Бюро ЮНЕСКО в Москве; ТЕИС, 2007. –190 с. 2. Отчет о научно-исследовательской работе «мотивация и самостоятельная работа студентов при изучении иностранных языков в техническом вузе Н-2-07 (заключительный). ДонНТУ, Донецк, 2013. –138 с. 3. Мороз О.К., Данилова В.А. Швабова Ю. Самостоятельная работа студентов и мотивация, как факторы для овладения иностранным языком в техническом вузе. Материалы VI-научно-методической конференции «Проблемы и пути совершенствования учебной, учебно-методической и воспитательной работы г. Донецк, 04 февраля 2016г. - Донецк: ДонНТУ, 2016. – с. 679-697. 4. Роль мотивирующих факторов и форм самостоятельной работы в изучении иностранных языков в техническом вузе/ Мороз О. К.// Инженер настоящего и будущего: практика и перспективы развития партнерства в высшем техническом образовании: материалы XVI Международной научно-практической конференции, г. Донецк, 1-2 июня 2021 г. - Ростов-на-Дону; Таганрог : Издательство Южного федерального университета, 2021. – 188 с. ISBN 978-5-9275-3855-3 5. Portfolio Europeen des Langues (PEL), Principes et lignes directrices avec notes explicatives. (Version 1.1). Division des politiques linguistiques. Strasbourg. Octobre 2000. Revisee en 2004.

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ИСХОДНОГО КОНТУРА ВНЕПОЛЮСНОЙ ЗУБЧАТОЙ ПЕРЕДАЧИ ДЛЯ ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ МАШИНОСТРОЕНИЯ

Муховатый А.А. (ФГБОУ ВО «ЛГУ им. В.Даля» г. Луганск, ЛНР, Россия)

E-mail: mukhovatyy@mail.ru

Abstract: In this work, the synthesis of the geometry of the initial contour of an off-pole gear with a tooth profile angle of 20° for various gear ratios is performed and the geometric parameters for this gear are determined. It has been established that the synthesized initial circuit provides a reduction in the coefficient of scuff resistance in engagement by 1.38...1.96 times in comparison with involute gears.

Key words: off-pole gears, scuff resistance coefficient, tooth profile angle, original contour, profile, synthesis, gear ratio.

Одним из требований транспортных систем машиностроения является работоспособность транспортных узлов. К таким узлам можно отнести: привод распределительного вала, распределительные и тяговые редукторы подвижного состава, маслоперекачивающие насосы и т.д. Зубчатые передачи оказывают значительное влияние на показатели работоспособности оборудования и машин транспортных систем машиностроения. Поэтому решение задачи, направленной на создание внеполюсных зубчатых передач с высокими значениями критериев работоспособности, является актуальной.

Внеполюсные зубчатые передачи могут быть синтезированы различными методами [1-7]. Рекомендации работы [1] позволяют синтезировать неэвольвентные зубчатые передачи по заданным значениям геометро-кинематических критериев, в работах [2, 4] геометрия зубьев колес определяется по заданной линии зацепления. Следует отметить работы, в которых предлагаются передачи, исходные контуры которых очерчены заданными кривыми, например, работа [3]. Ряд работ посвящен исследованию зубчатых передач, зубья которых очерчены исходными контурами, геометрия которых определена решением дифференциальных уравнений при заданных значениях критериев, характеризующих работоспособность, энергоемкость, износ зубьев передач [5, 7]. Заслуживает внимания синтез геометрии зубьев, базирующийся на решении дифференциального уравнения, полученного при исследовании их геометрии [6].

Однако исследования исходного контура для различных передаточных чисел по значению коэффициента задиростойкости для внеполюсных передач не проводились.

Цель исследования: провести исследование исходного контура для различных передаточных чисел внеполюсных передач по значению коэффициента задиростойкости для транспортных узлов машиностроения.

Методика синтеза исходного контура.

Коэффициент задиростойкости характеризуется величиной [8]

$$K_S = \frac{(\zeta - f_1 \cdot \zeta') \cdot \sin^2 \alpha_a}{\zeta^3}, \quad (1)$$

где K_S — относительный коэффициент задиростойкости, равный отношению коэффициента неэвольвентной зубчатой передачи к коэффициенту задиростойкости передачи с эвольвентным зацеплением.

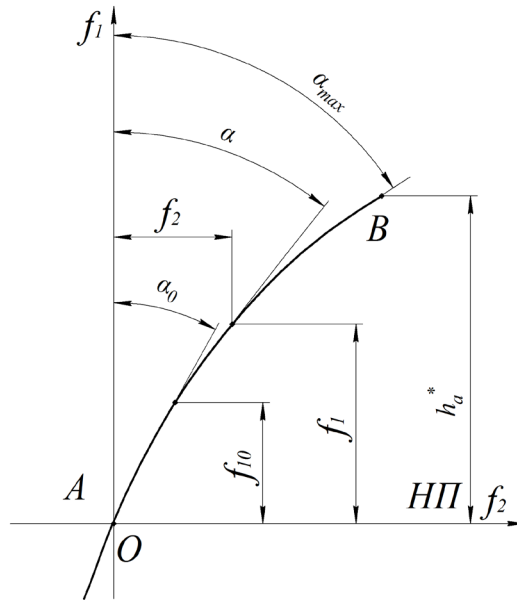


Рис. 1. Профиль исходного контура (НП—начальная прямая)

Коэффициент K_S показывает во сколько раз коэффициент задиростойкости неэвольвентной передачи меньше его значения для эвольвентной передачи.

Из соотношения (1) получаем дифференциальное уравнение [9]

$$\zeta' = \frac{\zeta \cdot (1 - K \cdot \zeta^2) \cdot \sin^2 \alpha_э}{f_1}, \quad K = \frac{\overline{K_S}}{\sin^2 \alpha_э}. \quad (2)$$

Профиль исходного контура является графиком функции $f_2(f_1)$. При определении этой функции будем использовать следующие зависимости

$$f_2' = \frac{\zeta}{\sqrt{1 - \zeta^2}}, \quad f_2'' = \frac{\zeta'}{(1 - \zeta^2)^{1,5}}, \quad (3)$$

где f_2' и f_2'' — первая и вторая производные f_2 по f_1 .

Значения функции f_2 можно определить, используя первое равенство (3), по формулам

$$f_{2i} = f_{2i-1} + \Delta f_i \cdot f_{2i-1}', \quad (i = 1, 2, \dots, n), \quad f_{1i} = f_{1i-1} + \Delta f_i, \quad (4)$$

где Δf_i — приращение функции

Процесс вычислений по формулам (4) продолжается до достижения значения $f_1 = f_{1\max}$. Полученные значения функции f_2 можно аппроксимировать, например, полиномом заданной степени.

Анализ значений второй производной функции f_2 с использованием значений (2) и (3) показывает, что ее можно с достаточной точностью аппроксимировать функцией

$$f_2'' = C_2 \cdot f_1^\lambda, \quad (5)$$

где C_2, λ — постоянные величины.

Постоянные C_2 и λ определяются из (5) и (3) при значениях f_2'' , в двух точках профиля, например, при $f_1 = f_{10}$ и $f_1 = f_{1\max}$.

На рис. 2 изображен профиль исходного контура, а в табл. 1 даны геометрические параметры исходного контура при угле профиля 20° .

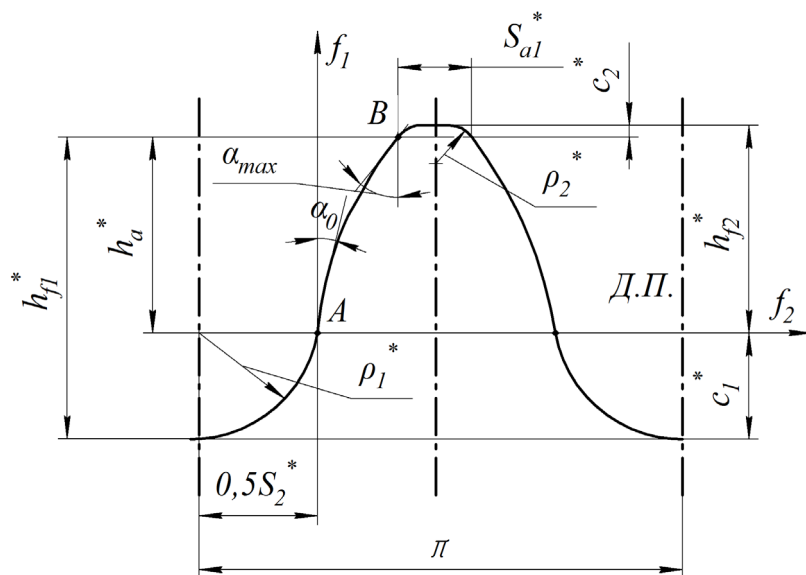


Рис. 2. Схема профиля исходного контура внеполусной зубчатой передачи (ДП – делительная прямая)

Таблица 1. Параметры исходного контура внеполусной зубчатой передачи (в долях модуля)

α_o	h_a^*	h_{f1}^*	h_{f2}^*	S_{a1}^*	S_{a2}^*	ρ_1^*	ρ_2^*	c_1^*	c_2^*
20	2,0	2,154	2,166	0,555	0,600	0,327	0,354	0,154	0,166

Результаты исследования и сравнительный анализ по критериям работоспособности

В качестве примера рассмотрим зубчатые передачи со следующими параметрами.

Вариант 1:

- число зубьев шестерни - $z_1 = 20$;
- число зубьев колеса - $z_2 = 80$;
- модуль зацепления - $m = 1$ мм;
- радиус начальной окружности шестерни - $R_1 = 10$ мм;
- радиус начальной окружности колеса - $R_2 = 40$ мм;
- передаточное число $U = 4$;

Вариант 2:

- число зубьев шестерни - $z_1 = 30$;
- число зубьев колеса - $z_2 = 90$;
- модуль зацепления - $m = 1$ мм;
- радиус начальной окружности шестерни - $R_1 = 15$ мм;
- радиус начальной окружности колеса - $R_2 = 45$ мм;
- передаточное число $U = 3$.

Результаты расчетов по критериям работоспособности для синтезируемого исходного контура при различных передаточных числах представлены на рис. 3-4.

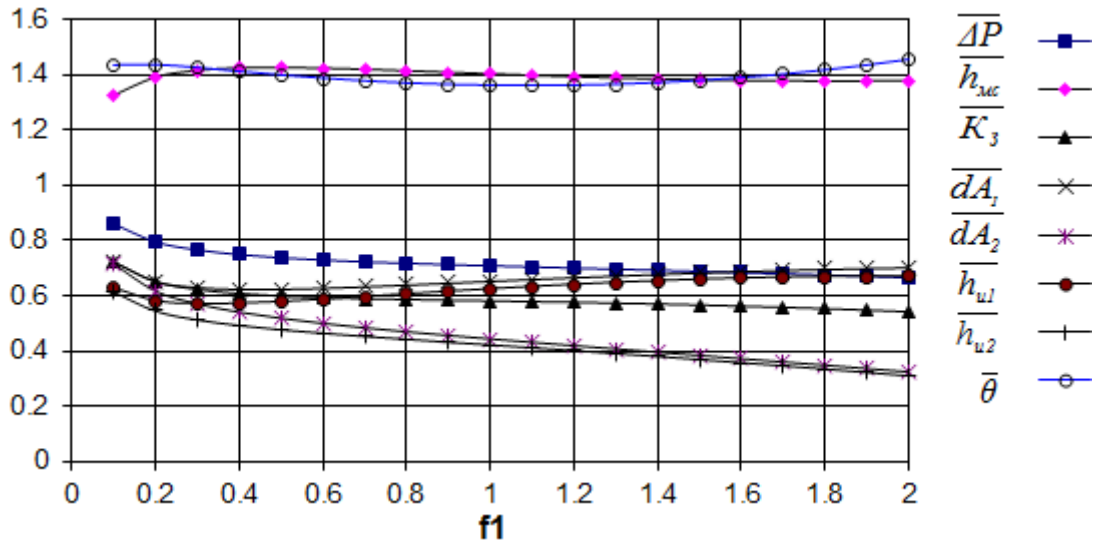


Рис. 3. Расчет по критериям работоспособности для передаточного числа 4

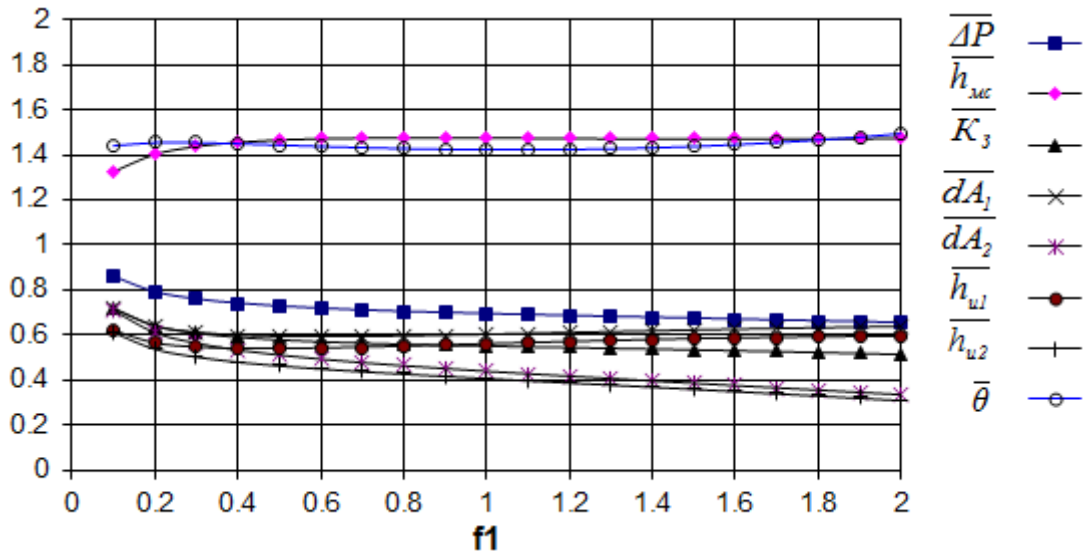


Рис. 4. Расчет по критериям работоспособности для передаточного числа 3

Из анализа графиков на рисунках 3-4 следует, что по всему полю зацепления $-1 \leq f_1 \leq -0,05$ и $0,05 \leq f_1 \leq 1$ значения критериев работоспособности зубчатой передачи с зубьями, спрофилированными с применением синтезированных исходных контуров, значительно выше в сравнении с эвольвентной зубчатой передачей. Согласно данным рисунков 3-4 эти критерии имеют значения:

- критерий потерь мощности в зацеплении $\overline{\Delta P}$ составляет 0,65...0,86 от критерия потерь в эвольвентном зацеплении;
- критерий толщины масляного слоя $\overline{h_{mc}}$ между рабочими поверхностями в 1,32...1,47 раза больше, чем в эвольвентном зацеплении;
- критерий заедания $\overline{K_3}$ составляет 0,51...0,72 от критерия заедания эвольвентной передачи;
- критерий удельной работы сил трения \overline{dA} составляет 0,33...0,72 от удельных работ сил трения эвольвентной передачи;

—критерий износа зубьев $\overline{h_u}$ составляет 0,31...0,66 от критерия зубьев эвольвентной передачи;

—критерий контактной прочности $\overline{\theta}$ зубьев в 1,36...1,49 раза больше, чем критерий контактной прочности эвольвентной передачи.

Выводы.

1. Выполнено проектирование исходного контура внеполюсной зубчатой передачи по коэффициенту задиростойкости с углом профиля зубьев 20° при передаточных числах 3,4 для транспортных систем машиностроения.

2. Установлено, что синтезированные исходные контуры обеспечивают в зацеплении снижение коэффициента задиростойкости в 1,38...1,96 раза в сравнении с эвольвентными передачами.

3. Дальнейшие перспективы использования полученных результатов связаны с проведением эксперимента и оптимизацией геометрических параметров исходных контуров.

Список литературы: 1. Шишов В.П./ В.П. Шишов, П.Л. Носко, П.В. Филь Теоретические основы синтеза передач зацеплением: монография. — Луганськ: вид-во СНУ ім. В. Даля, 2006. — 408с. 2. Шабанов И.Р. О зубчатой передаче с конхоидальной линией зацепления / И. Р. Шабанов // Надежность и качество зубчатых передач. НИИ ИНФОРМТЯЖМАШ. 18-67-106, 1967. — С. 1-8. 3. Аникин Ю.В. Синусоидальное зацепление / Ю.В. Аникин. — Воронеж: Изд-во ВГУ, 1975. — 56с. 4. Башански М. Возможность использования неэвольвентного зацепления в коробках передач сельскохозяйственных машин / М. Башански, П. Токоли, Ф. Ваня, И. Кожух // Вісник НТУ «ХП». — Харків: НТУ «ХП». — 2011. — № 29. — С. 21-30. 5. Шишов В.П. Высоконагруженные зубчатые передачи / В.П. Шишов, П.Л. Носко, А.А. Муховатый // Вісник НТУ «ХП». — Харків: НТУ «ХП». — 2011. — № 28. — С. 180-186. 6. Протасов Р.В. Исследование коэффициента перекрытия эвольвентных передач / Р.В. Протасов, А.В. Устименко // Вісник НТУ «ХП». — Харків: НТУ «ХП». — 2011. — № 29. — С. 154-165. 7. Шишов В.П. Синтез зубчатых передач с пониженной энергоемкостью / В.П. Шишов, В.В. Бурко, О.А. Ревякина, А.А. Муховатый // Вісник Східноукр. нац. ун-ту ім. В. Даля. — 2012. — № 13(184). — Ч. 1. — С. 117-123. 8. Муховатый А.А. Исследование неэвольвентных зубчатых передач для технологического оборудования пищевого производства / А.А. Муховатый // Інноваційні технології пищевих производств: збірник тезисів доповідей V Всеросійської науково-практичної конференції (с міжнародним участям), г. Севастополь, 23 – 25 листопада 2022 року / под. ред. Н.И. Покинтелиці, Ю.О. Веляєва; Міністерство науки і вищого освіти Російської Федерації, ФГАОУ ВО «Севастопольський державний університет». – Севастополь: СевГУ, 2023. – 168 с. – С. 113-116. 9. Муховатый А.А. Исследование внеполюсных зубчатых передач для оборудования пищевой промышленности / А.А. Муховатый // Матеріали пула науково-практичних конференцій / Донецький національний університет економіки і торгівлі імені Михайла Туган-Барановського; Керченський державний морський технологічний університет; Луганський державний педагогічний університет; Луганський державний університет імені Володимира Далья. – Керчь: КГМТУ, 2023. – 863 с. – С. 115-119.

СТРУКТУРА СВЕРХТВЕРДЫХ ЭЛЕКТРОИСКРОВЫХ ПОКРЫТИЙ ФОРМИРУЕМЫХ ПО БЕСКОНАКТНОЙ ТЕХНОЛОГИИ

Овчинников Е.В., Аксамит А.А., Овчинников А.Е. (ГрГУ им. Янки Купалы,
г.Гродно, Беларусь)

Тел./Факс: +375 (152) 684108; E-mail: ovchin@grsu.by

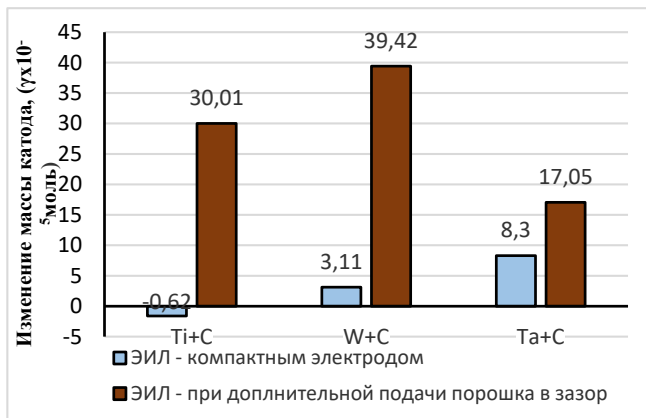
Abstract: *The article deals with the issues of the influence of technological parameters on the structure of obtaining electrospark coatings. Coatings were formed using non-contact technology. This approach to the formation of protective layers can significantly reduce the defectiveness of the formed coatings. It is shown that nanostructures and MAX phases are formed in the structure of electrospark coatings. The presence of these nanostructured objects leads to significant changes in the physical and mechanical characteristics of electrospark coatings.*

Key words: *structure, coatings, properties, nanostructures, MAX phases*

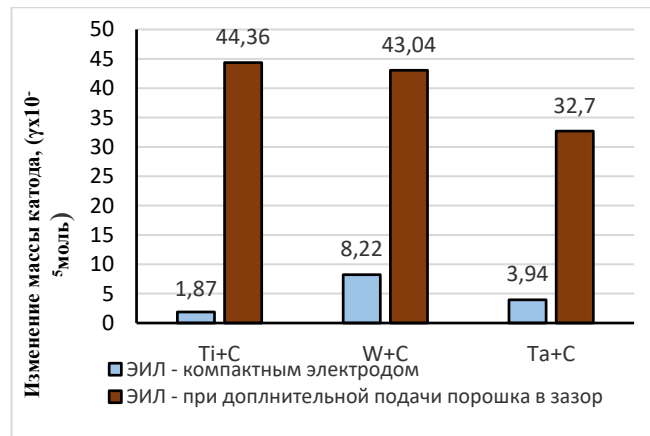
Основой метода электроискрового легирования бесконтактным способом порошковых материалов является взаимодействие дисперсных частиц порошковых материалов, поступающих в зону межэлектродного промежутка, с каналом искрового разряда, представляющим собой импульсный поток низкотемпературной плазмы. Данная плазма образуется в результате газового разряда при проведении процесса бесконтактного электроискрового легирования. Для оптимизации технологии формирования электроискровых покрытий бесконтактным способом необходимо знать какое влияние оказывает электрическое поле, которое налагается на межэлектродный промежуток, особенности поведения частиц в искровом канале, особенности нагрева, плавления, испарения и движения потока расплавленного материала. Методология осуществления данной технологии заключается в наложении сильного электрического поля от 0,5 кВ и более на межэлектродный промежуток в котором создаются сильноточные импульсы.

В случае использования порошков в качестве легирующих материалов температура их плавления должна быть соизмерима с температурой катода. Процесс формирования покрытий на катоде приближается к традиционному процессу, соблюдая жесткую зависимость между количеством переносимого материала и электрической энергией разряда. Например, при введении в зазор порошка карбида титана (TiC) установлено, что рабочему режиму с большей энергией соответствует большее количество материала, осажденного на поверхности катода, и наоборот, при рабочем режиме с меньшим значением электрической энергии разрядов соответствует меньшее количество осаждаемого материала.

Чтобы более наглядно увидеть разницу между применяемыми процессами: традиционным процессом ЭИЛ с электродом - компактным анодом и процессом с введением в зазор порошка из того же материала, что и анод, представим результаты в виде гистограмм. Процесс проводили при времени обработки 1 мин/см² и величине энергии электрического разряда в импульсе 0,3 Дж и 0,9 Дж. Из рисунков 1, 2 видно, что введение порошка в межэлектродный зазор способствует существенному улучшению условий формирования покрытий и, что более важно, толщины нанесенного слоя гораздо больше.

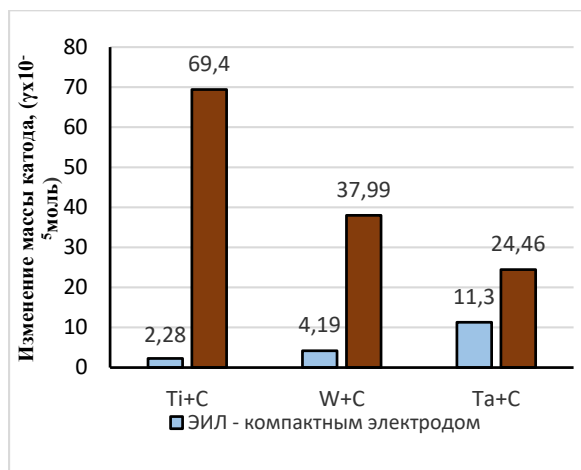


а)

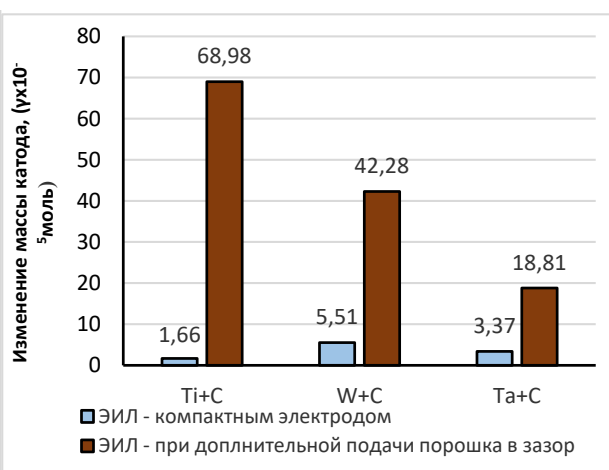


б)

Рисунок 1. Сравнительные значения прироста массы катода при формировании покрытий двумя технологическими способами ЭИЛ: компактным электродом и при дополнительной подачи порошка в зазор, $E_p=0,3$ Дж. а) катод, изготовлен из стали 45; б) катод, изготовлен из сплава ВТ1.



а)



б)

Рисунок 2. Сравнительные значения прироста массы катода при формировании покрытий двумя технологическими способами ЭИЛ: компактным электродом и при дополнительной подачи порошка в зазор, $E_p=0,9$ Дж. а) катод, изготовлен из стали 45; б) катод изготовлен из сплава ВТ1.

Интенсивное изменение в приросте массы катода при формировании покрытий методом бесконтактного электроискрового легирования, должно приводить к существенным изменениям в структуре получаемых защитных слоев. Методом рентгеноструктурного анализа проведены исследования покрытий ЭИЛ, полученных бесконтактным способом. Структурные исследования материалов проводили на дифрактометре ДРОН-3.0 с использованием графитового монохроматора излучения от медного источника при скорости сканирования $2^\circ/\text{мин}$. Структурные изменения

определяли по положению рефлексов и изменению их интенсивностей на рентгенограммах.

Результаты исследований приведены на рисунках 3-6.

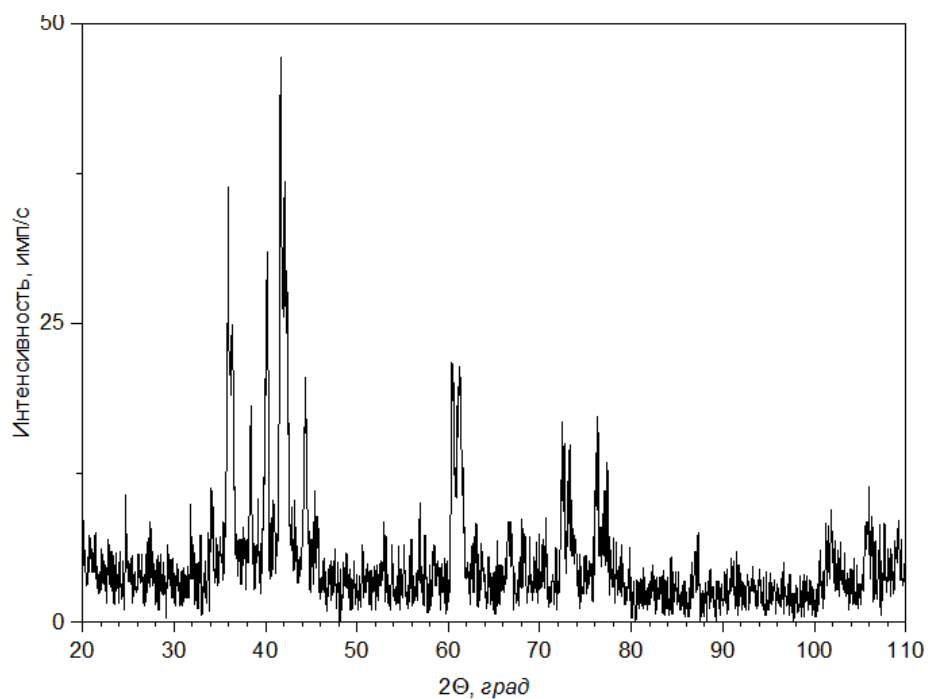


Рисунок 3. Рентгенограмма электроискрового покрытия TiC+Al, полученного по бесконтактной технологии осаждения защитных слоев.

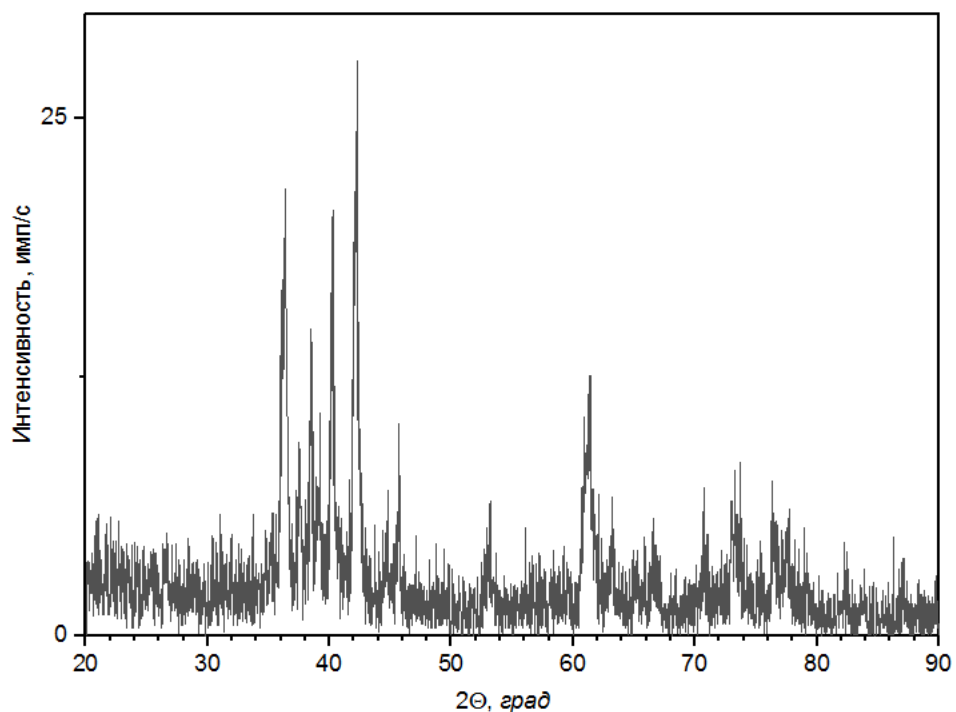


Рисунок 4. Рентгенограмма электроискрового покрытия Al+C, полученного по бесконтактной технологии осаждения защитных слоев.

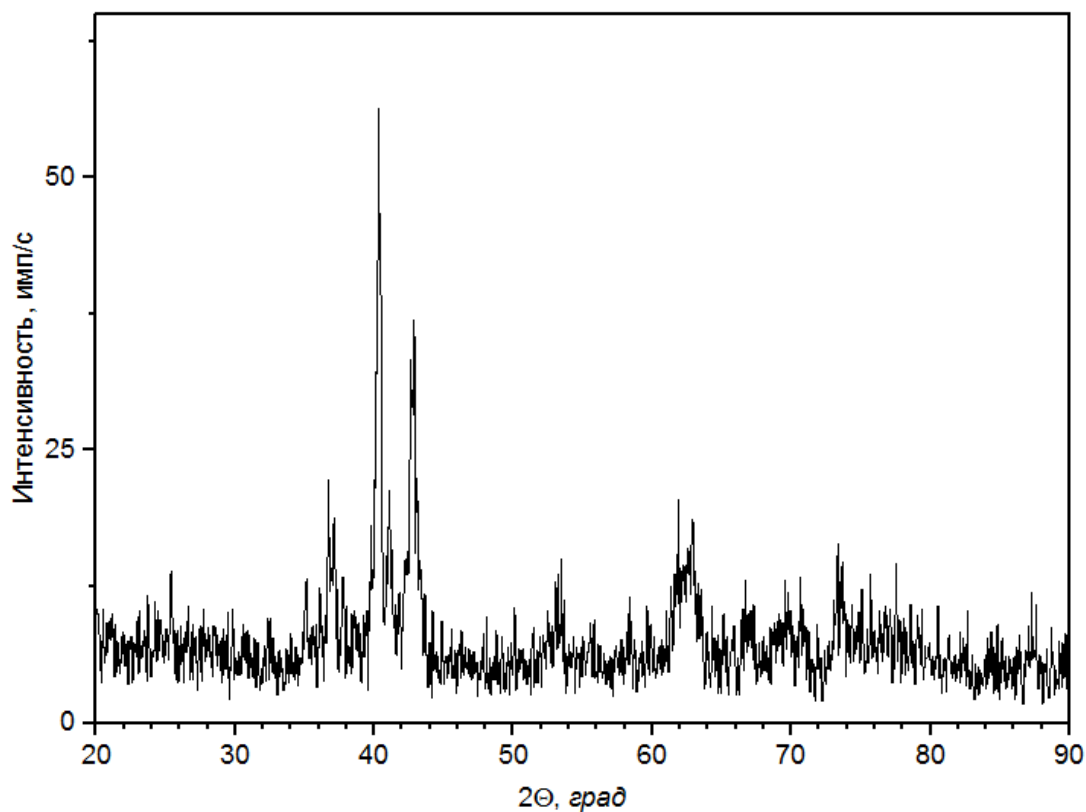


Рисунок 5. Рентгенограмма электроискрового покрытия TiN, полученного по бесконтактной технологии осаждения защитных слоев.

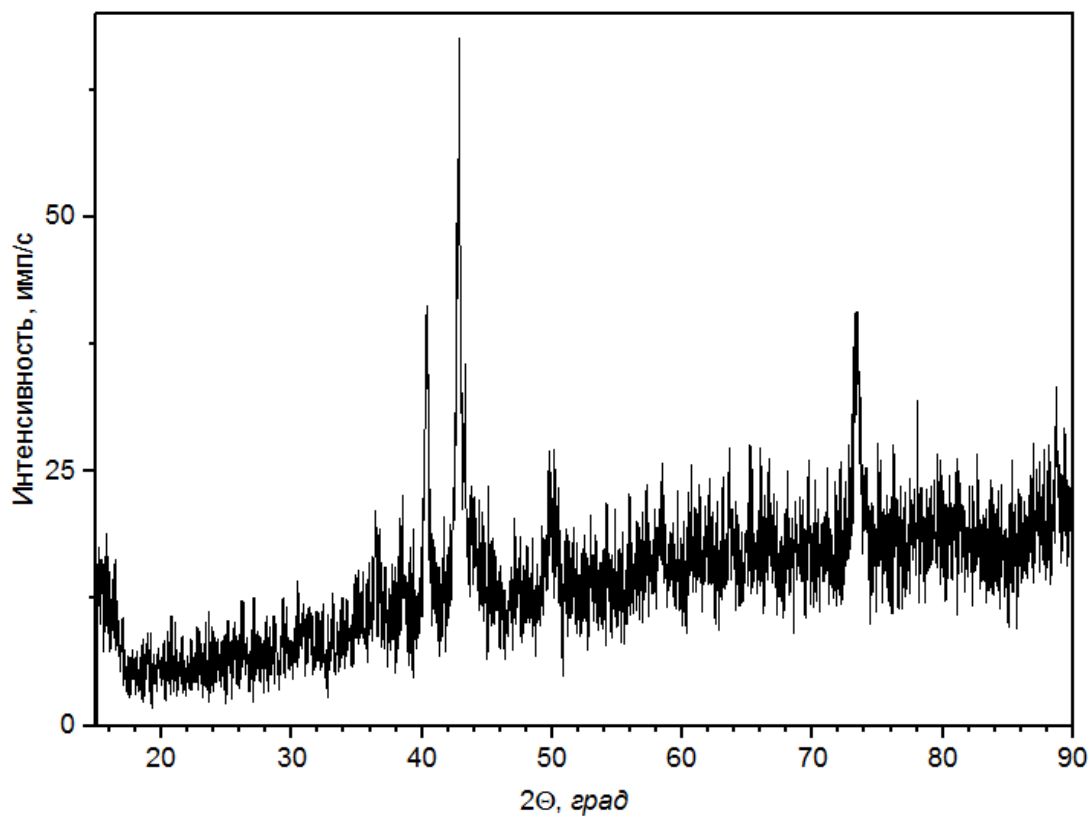


Рисунок 6. Рентгенограмма электроискрового покрытия TiN+Al, полученного по бесконтактной технологии осаждения защитных слоев.

Проведенные исследования по изучению структуры электроискровых покрытий, полученных по технологии бесконтактного формирования защитных слоев, показало возможность образования тройных соединений.

Тройные соединения представляют собой семейство слоистых соединений с формальной стехиометрией $M_{n+1}AX_n$ ($n=1, 2, 3...$), где $M-d$ – переходный металл; $A-p$ – элемент (например, Si, Gt, Al, S, Sn и др.); X -углерод или азот [1-3].

Слоистые тройные карбиды и нитриды d - и p -элементов (МАХ-фазы) обладают уникальным сочетанием свойств, характерных как для металлов, так и для керамики. Такие материалы обладают низкой плотностью, высокими значениями тепло- и электропроводности, прочностью, низким модулем упругости, высокой коррозионной стойкостью в агрессивных жидких средах, стойкостью к высоким температурам и механическим ударам; они легко поддаются механической обработке, обладают высокими температурами плавления и стабильны при температурах до 1000 °С и выше [2].

Из множества МАХ-фаз, синтезированных на данный момент, особый интерес с точки зрения уровня свойств представляют МАХ-фазы на основе титана – Ti_2AlC , Ti_2AlN , Ti_3AlC_2 , Ti_3SiC_2 . Эти производственные процессы связаны с использованием сложного оборудования с большими энергозатратами. Представляет интерес синтез МАХ-фаз методом ЭИЛ, который легко осуществим, а также отличается низкими энергозатратами. Таким образом, были синтезированы в ходе исследований МАХ-фазы в виде покрытий непосредственно на рабочих поверхностях деталей машин или на других поверхностях, требующих защиты от коррозии, износа и т.п.

Для получения МАХ-фаз методом ЭИЛ на конструкционной стали 45 и титановом сплаве ВТ6 использовали три технологических процесса. В первую очередь использовались компактные электроды из тех же материалов (элементов), из которых состоят МАХ-фазы. Например, для получения МАХ-фазы из элементов Ti, Al и C образец последовательно обрабатывали Ti, Al и, наконец, графитом, при различных энергетических режимах и временах обработки единицы поверхности, так что устанавливались оптимальные условия для получения тройных соединений [4-5].

В другой схеме обработки в качестве легирующих элементов использовались порошки тех же материалов (графит, Ti, Al, TiN, SiC), которые вводились в зазор между анодом и катодом в процессе ЭИЛ. При этом использовались стехиометрические смеси соответствующих порошков.

Список литературы: 1. Овчинников Е.В. Электроискровые покрытия: структура, свойства, технология формирования. –Гродно- 2022 – 253с. 2. Fincke, J.R. Comparison of the Characteristic of HVOF and Plasma Thermal Spray. Thermal Spray Industrial Application Edited by S. Berndt, C.C. Sampath - ASM International, Ohio, USA, Boston, 1994. pp. 325- 330. 3. Vinayo, M.E., Kassabji, F., Guyonnet, J., Fanchais, P., Plasma Sprayed WC-Co Coatings: Influence of Spray Conditions (Atmospheric and Low Pressure Spraying) Porosity and Hardness. J. Vac. Sci. Technology A. 1985. V. A3, №6. pp.2483-2489. 4. Михайлов, В.В. Особенности электроискрового легирования титана и его сплавов. Дисс. на соиск уч. степени канд. техн. наук, Киев, 1977. -128 с. 5. Казак Н.Н., Овчинников Е.В., Михайлов В.В., Чекан Н.М. Коррозионностойкие нанокomпозиционные покрытия, получаемые методом электроискрового легирования //Горная механика и машиностроение. 2020. № 2. С. 70-76.

ПЛАСТИЧНЫЕ СМАЗОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ, МОДИФИЦИРОВАННЫЕ УГЛЕРОДНЫМИ НАНОЧАСТИЦАМИ

Овчинников Е.В., Кузнецова Е.В., Якусевич М.С., Овчинников А.Е. (ГрГУ им.
Янки Купалы, г. Гродно, Беларусь)
Тел./Факс: +375 (152) 684108; E-mail: ovchin@grsu.by

Abstract: *The article deals with issues related to the study of the tribotechnical characteristics of greases modified with graphene-like structures. It is shown that the introduction of even doping concentrations of graphene-like particles leads to a decrease in the friction coefficient and an increase in the wear resistance of metal friction pairs. This effect is due to low values of tangential stresses in agglomerates of graphene particles.*

Keywords: *graphene, nanoparticles, greases, tribotechnical characteristics*

Применение жидких систем достаточно разнообразно, в частности, они могут применяться в качестве топлива, смазочных материалов, охлаждающих сред для двигателей внутреннего сгорания, теплоносителей для обогрева зданий и т.п. Перспективным направлением является применение жидкостей в IT-технологиях для охлаждения процессоров и видеокарт. Однако большинство жидкостных теплоносителей разработаны во второй половине 20 века. Обычно охлаждающие системы создаются путем смешивания базовой жидкости (обычно вода), компонентов, обеспечивающих высокую стойкость, как к повышенным температурам, так и низким, ингибиторов коррозии. Одной из перспективных методик является создание наножидкостей (nanofluids) – устойчивых суспензий различных частиц (коллоидных растворов) с нужными эксплуатационными характеристиками. В настоящее время в большинстве случаев используются углеродные наноматериалы: детонационные наноалмазы (ДНА), углеродные нанотрубки (УНТ) и графеновые наноматериалы (graphene nanosheets, graphene microsheets (ГНМ), graphene nanoplatelets, graphene oxide и т.д.) [1-4].

В частности, известны патенты на смазочные материалы [5, 6]. Известен состав композиционного смазочного материала, включающий смазочную основу на базе нефтяного или синтетического масла и загустителя и дисперсную присадку, отличающийся тем, что содержит дисперсную присадку в виде нанодисперсных частиц, модифицированных фторсодержащим олигомером молекулярной массы 2000 – 5000 общей формулы R_f-R_1 , где R_f – перфторированный алкильный радикал, возможно содержащий атомы кислорода, R_1 – концевая функциональная группа -ОН, -NH₂, -COOH или -CF₃, при массовом соотношении нанодисперсных частиц и олигомера (1 – 100):(1 – 100), при следующем соотношении компонентов в материале:

- Дисперсная присадка 0,1 – 22,0 % мас.;
- Смазочная основа – остальное [5].

Известен состав смазочного материала, включающего смазочную основу на базе нефтяного или синтетического масла, загуститель и присадку, в качестве присадки используют смесь высокодисперсных углеродсодержащих или кремнийсодержащих частиц и продуктов термогазодинамического синтеза политетрафторэтилена при массовом соотношении 1:(0,1 ÷ 100) при следующем соотношении компонентов:

- Смесь высокодисперсных углеродсодержащих или кремнийсодержащих частиц и продуктов термогазодинамического синтеза политетрафторэтилена – 0,1 – 25,0 % мас.;
- Смазочная основа – остальное до 100 % мас. [6].

Одним из методов получения наночастиц в растворе жидкости является импульсная лазерная абляция [7]. Так, предложена конструкция устройства, которое содержит проточную кювету для размещения мишени, имеющую входное окно для лазерного излучения, резервуар с исходным раствором и резервуар с раствором наночастиц, перистальтический насос и датчик контроля концентрации частиц.

В настоящее время в узлах карданных передач в качестве смазочного материала применяются 158-я смазка и «Итмол-150Н», которые относятся к отраслевым смазкам. Области применения данных смазок следующие: подшипники качения автотракторного оборудования, игольчатые подшипники карданных шарниров непостоянной угловой скорости. Основной задачей пластичных смазок является снижение коэффициента трения. Свойства данных смазочных материалов зависят от свойств компонентов, входящих в их состав: масла (минерального или синтетического), загустителя и других веществ, предусмотренных рецептурой, дисперсностью и т.п. Эксплуатация карданных передач показало, что применяемая указанные выше пластичные смазочные материалы удовлетворительно обеспечивают требуемые антифрикционные свойства, что не позволяет существенно увеличить эксплуатационный ресурс автокомпонент различного назначения.

Целью данной работы является изучение триботехнических характеристик отечественных пластичных смазок, модифицированных нанодисперсными углеродными частицами, полученными по технологии СВС-синтеза.

Для проведения триботехнических испытаний на машине трения СМТ-2 образцы (ролик и вкладыш) были изготовлены из стали 45. Шероховатость рабочих поверхностей перед испытаниями не превышала значение $R_a=0,3-0,4$ мкм. Триботехнические испытания проводили на машине трения СМТ-2 по схеме «вал - частичный вкладыш» в режиме трения скольжения при фитильной смазке. Эксперименты проводили при температуре окружающей среды 293 ± 5 К. Приработку образцов осуществляли при скорости скольжения 0,5 м/с и нагрузке 1.4 МПа. Приработку проводили до получения постоянных значений момента трения и температуры, но не менее 6ч. Испытания проводили при скоростях скольжения 0,1-1 м/с в диапазоне нагрузок от 0,1-10 МПа. Интенсивность изнашивания рассчитывали по стандартной методике. Момент трения фиксировали при помощи индуктивного датчика. Величину коэффициента трения рассчитывали по формуле $f=M_{тр}/(R P_{ос})$, где $M_{тр}$ – момент трения, кг·см, R – радиус ролика, см; $P_{ос}$ – осевая нагрузка на образцы, кг. Состояние поверхности трения ролика и вкладыша контролировали методами профилометрии. Оценку состояния поверхности трения, топографию разделительного слоя изучали методами оптической и атомно-силовой по стандартным методикам.

Согласно полученных данных зависимость коэффициента трения смазочных материалов от пути трения имеет не линейный характер. Низким коэффициентом трения из изучаемых смазок обладают пластичные смазки Циатим 201, Итмол-150Н. Смазочные материалы Литол, 158-смазка, Солидол имеют значения коэффициента трения выше, чем у выше указанных пластичных смазок.

Введение нанодисперсного модификатора в смазочную композицию существенно уменьшает значение коэффициентатрения. Очевидно, благоприятное действие графеноподобных структур обусловлено прежде всего заполнением смазочного материала с ГПС частицами различных дефектных участков поверхностей трения, формированием более прочных адсорбционных связей слоев смазки на образовавшихся ювенильных участках поверхности трения и структурирующим действием на

жидкофазные компоненты пластичной смазки. На ювенильных поверхностях, образовавшихся в результате микрорезания в процессе трения контактирующими поверхностями, адсорбируются, прежде всего, графеноподобные частицы, обладающие повышенной активностью в сравнении с другими компонентами композиционного смазочного материала. Кластеры углеродных наночастиц оказывают полирующее действие на участках, существенно меньших, чем единичные микронеровности.

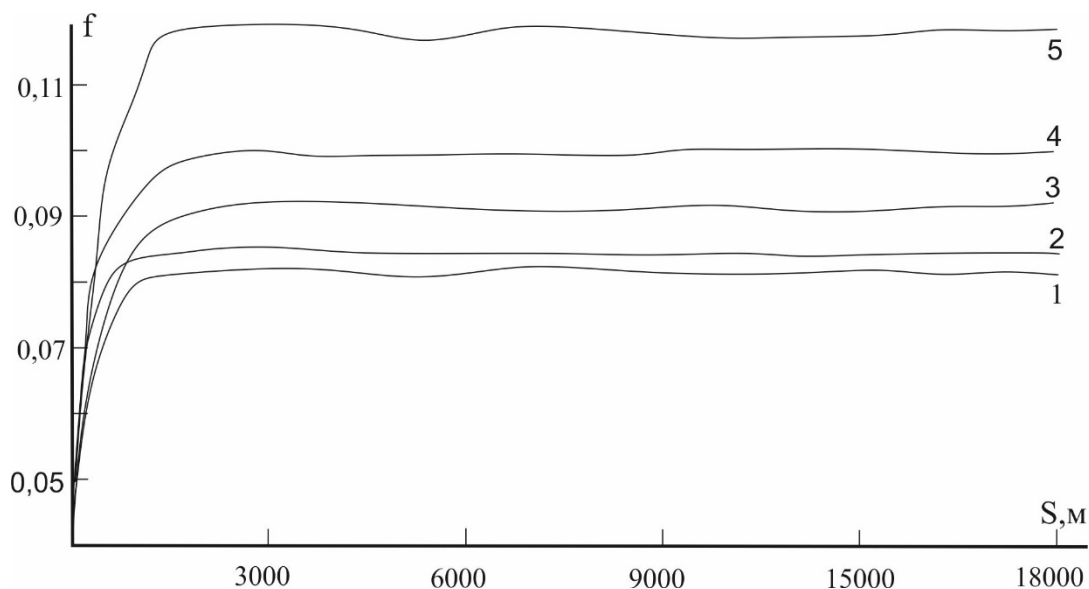


Рис. 1. Зависимость коэффициента трения базовых смазочных материалов от пути трения: 1-циатим 201, 2-Итмол 150Н, 3- 158, 4-литол, 5-солидол.

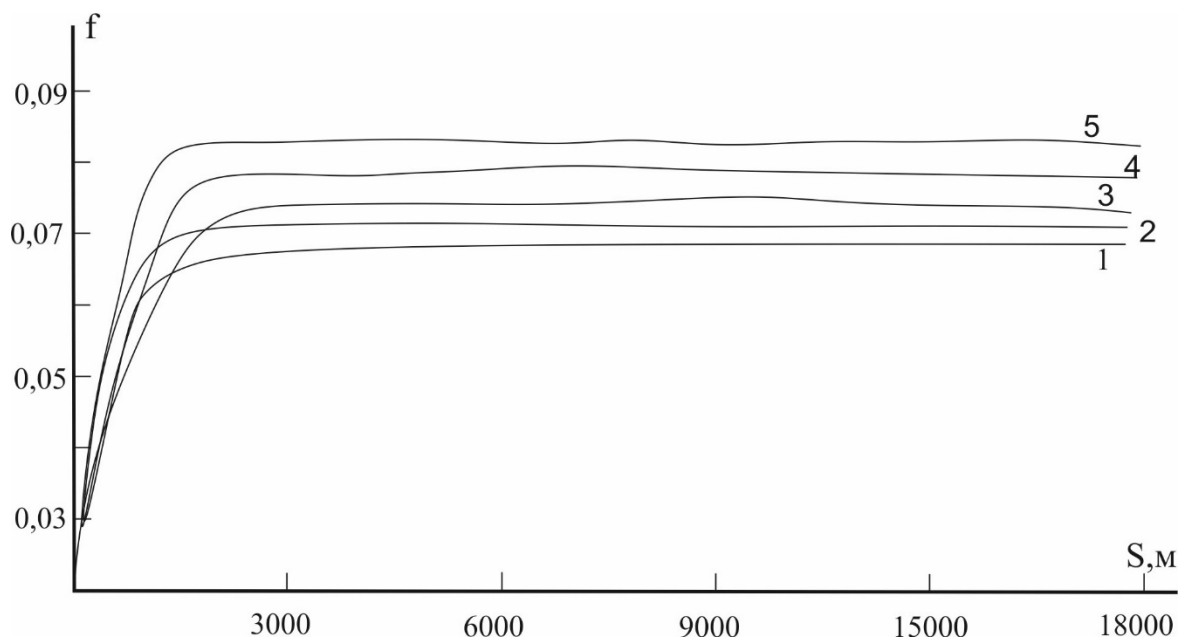


Рис. 2. Зависимость коэффициента трения композиционных смазочных материалов от пути трения: 1-Итмол-150Н +1мас.% ГПС, 2-Итмол 150Н+0,5 мас.% ГПС, 3- Итмол 150Н+0,05 мас.% ГПС, 4- Итмол 150Н+0,01 мас.% ГПС, 5-Итмол-150Н.

Это приводит к повышению нагрузочной способности смазочного слоя при одновременной реализации тиксотропного эффекта, обеспечивающего низкий коэффициент трения [4-5,8].

Для отечественных пластичных смазок в указанных нагрузочно-скоростных диапазонах характерно микроабразивное изнашивание (рис.2).

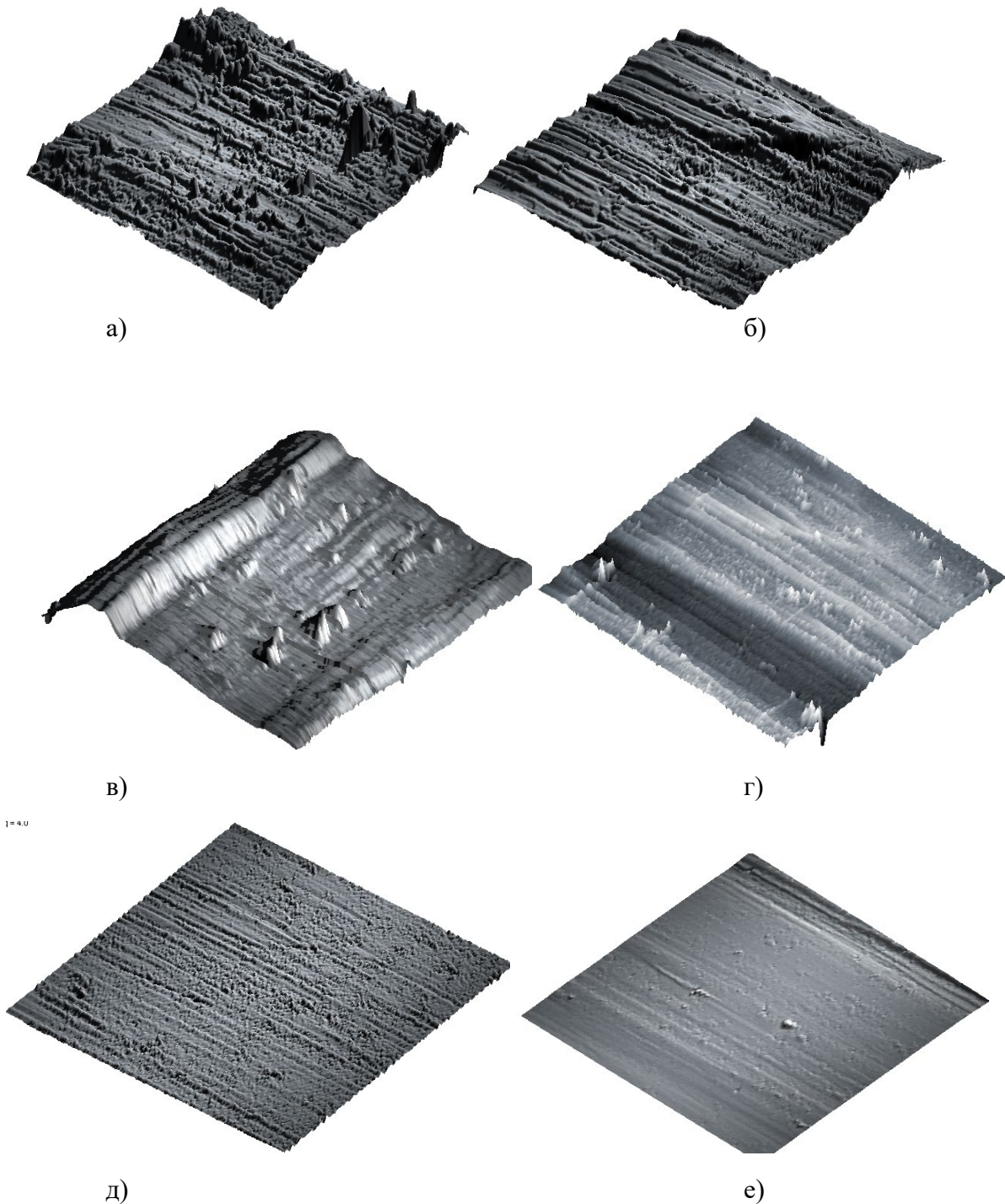


Рис. 3. Изображение поверхности образца стали 45 после трения с различными смазочными материалами: а- солидол; б-литол; в - 158; г- циатим 201г; д- Итмол-150Н; е) Итмол-150Н+0,5 мас.% ГПС. Результаты получены методом АСМ, площадь сканирования 24х24 мкм.

Поверхность металлов, подвергаемых коррозионно-механическому изнашиванию, покрывается множеством параллельно расположенных канавок, ориентированных в направлении относительного перемещения сопрягаемых тел (рис.2.). При тяжелых режимах нагружения возможно образование сферических частиц износа (рис.2 а) размером в ряде случаев до 0,5-3 мкм. Внешняя поверхность частиц достаточно гладкая (рис.2 а-в). Сферические частицы износа образуются в результате трибохимического взаимодействия контактирующих тел и смазочного материала. Согласно современным представлениям в области трибологии между контактирующими телами в случае отсутствия или ограниченного присутствия смазочного материала возможно возникновение локальных температур свыше 1000°С, что может приводить к термокрекингу пластичного смазочного материала, усилению к химического взаимодействия с металлическими частицами износа и в конечном итоге образованию сферических металло-олигомерных или в ряде случаев металло-полимерных частиц. В случае применения графеновых наночастиц происходит выглаживание металлического субстрата, так как ГПС материал заполняет микронеровности металлических тел пары трения, препятствуют непосредственному контакту между трущимися поверхностями. Так как пластины графеноподобных частиц обладают низким сопротивлением сдвигу по отношению к другу к другу, в сравнении со слоистыми минералами, то наблюдается снижение коэффициента трения при введении данного типа модификатора в пластичные смазки. Очевидно, что при наличии в смазочной композиции активных противоизносных присадок наномодификаторы способны обеспечивать синергический эффект направленного транспорта и адсорбции (хемосорбции) молекулы модификатора на поверхности трения (рис.2 д,е). Необходимо отметить, что в процессе трибоконтакта происходит изменение химического состава, как самого смазочного материала, так и поверхностных слоев контактирующих образцов пары трения.

Список литературы. 1. Витязь П.А. Нанокристаллические алмазы и перспективы их использования // Наноструктурные материалы: получения и свойства. – Мн.: НАНБ, 2000. – С. 8 – 20. 2. Овчинников Е.В. [и др.] Применение наноразмерных модификаторов в технологии получения композиционных смазочных материалов // Инновационные технологии в машиностроении: материалы междунар. науч.-техн. конф., Новополоцк, 29–30 окт. 2013 г. / Полоц. гос. ун-т; / под общ. ред. В. К. Шелег, А. И. Гордиенко. – Новополоцк, ПГУ: 2013. – С. 196 – 199. 3. Возняковский А.П., Возняковский А.А., Шугалей И.В. Доступный синтез графена, как первый шаг получения сверхтвердых материалов нового поколения // Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент – техника и технология его изготовления и применения. – 2017. – № 20. – С. 316–323. 4. Auchynnikaу, Y. Tribological characteristics of liquids modified with hybrid carbon nanomaterials/ Y. Auchynnikaу, A. Auchynnikaу // Актуальные проблемы науки и техники : сб. тр. науч.-исследоват. работ по материалам Междунар. конкурса. , Уфа, 21 нояб. 2022 г. – Уфа : Изд. НИЦ Вестник науки, 2022. – С. 28-34. 5. ВУ 7832 С1, 2006. 6. ВУ 18073 С1, 2013. 7. RU 173887 С1, 2017. 8. Овчинников, Е. В. Теплофизические характеристики наножидкостей / Е. В. Овчинников, А. Е. Овчинников // Наука в современном информационном обществе = Science in the modern information society XXVI : материалы XXVI междунар. науч.-практ. конф., North Charleston, USA, 20-21 июля 2021 г. – Morrisville : Lulu Press, 2021. – С. 151-156.

ЗАРЯДОВАЯ АКТИВНОСТЬ СОДЕРЖАЩИХ КРЕМНИЙ НАНОФАЗНЫХ ЧАСТИЦ, ПРЕДНАЗНАЧЕННЫХ ДЛЯ МОДИФИЦИРОВАНИЯ ПОЛИМЕРНЫХ МАТРИЦ

Овчинников Е.В., Ядыкин С.А. (ГрГУ им. Янки Купалы, г. Гродно, Беларусь, NST Group, Тель-Авив, Израиль)

Тел./Факс: +375 (152) 684108; E-mail: ovchin@grsu.by

Abstract: *The article considers the influence of various technological methods for obtaining nanosized silicate-containing particles. It is shown that, depending on the methods of formation of particles, their activity changes. Of interest for further research are silicon carbide particles obtained from natural raw materials of organic origin. These particles have an increased charge activity in relation to other studied classes of charge particles.*

Keywords: *nanoparticles, silicates, activity, charge, current*

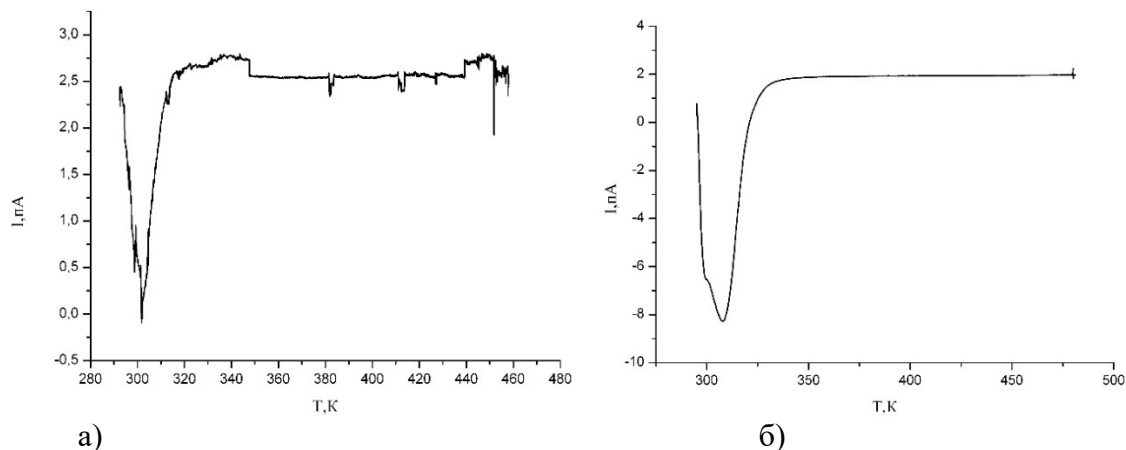
Одним из эффективных способов существенно изменить эксплуатационные характеристики многотоннажно выпускаемых полимерных материалов является введение различного типа веществ в допинговых концентрациях. Присутствие модификатор в полимерной матрице а существенным образом влияет на физико-механические характеристики полимеров и в конечном счете определяет качество получаемых изделий. Исходя из имеющихся исследований считается, что модифицированные термопласты могут перерабатываться всеми известными методами. Обычно при модифицировании полимерных материалов происходит уменьшение или стабилизация усадки, наблюдаются более стабильные вязкостные характеристики, изменяется протекание релаксационных процессов [1–2]. Применение наночастиц, которые можно отнести к сверхтвердым материала (наноалмазы, алмазосодержащая шихта, наночастицы на основе карбида вольфрама и т.п.) в большинстве случаев приводит к интенсификации процесса изнашивания, более быстрому изменению геометрических размеров контртела в узле трения, вследствие изменения трибохимических условий испытаний [3–4]. Применение различного типа нанородов также может приводить к изменению эксплуатационных характеристик полимеров в сторону ухудшения свойств, вследствие неоднородности распределения данного типа модификаторов в матрице полимера, а также за счет создания локальных областей с различной ориентацией модификатора в объеме высокомолекулярного соединения.

Таким образом, применение модификаторов и наполнителей различной дисперсности могут позволить решить разнообразные задачи материаловедения, в области создания новых конструкционных материалов, путем оптимального подбора модифицирующего агента. В настоящее время в качестве модификаторов полимерных материалов широко используются различного типа силикатные частицы. В зависимости от химического состава, структуры и морфологии данные частицы имеют различную активность, что обуславливает их степень модифицирующего действия на высокомолекулярную матрицу [5].

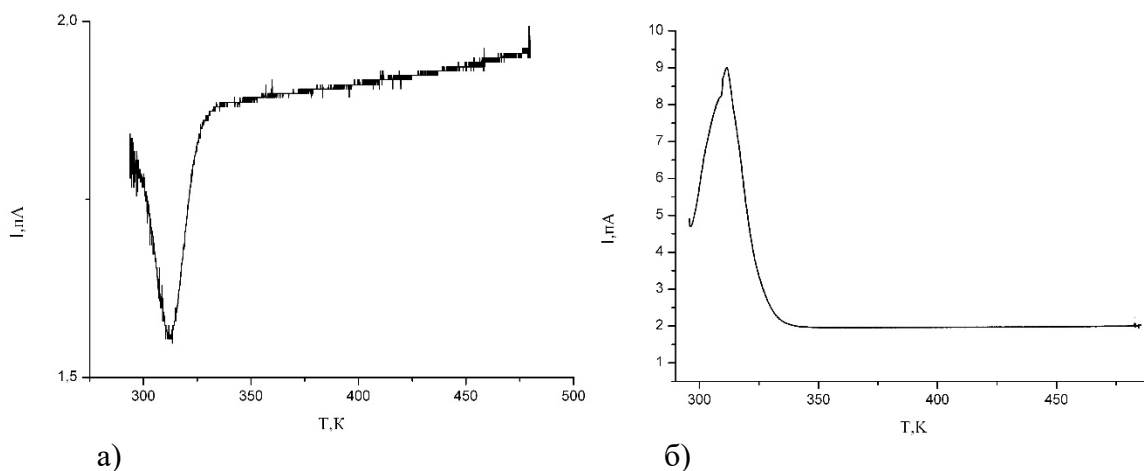
Целью данной работы является исследование активности силикатных частиц различного типа методом термостимулированной токовой спектроскопии

Ультрадисперсные силикатсодержащие частицы различной технологии получения, состава и строения исследовались с помощью метода термостимулированной деполяризации (ТСТ-спектроскопии, спектроскопии

термостимулированных токов,) [5]. Сущность метода заключается в изучении релаксации заряда, обуславливающего электретное состояние. Для обеспечения быстрой релаксации применяют термическую стимуляцию разряда диэлектрика при постоянной скорости нагрева. Анализ основан на свойстве зарядов, накопленных диэлектриками, высвобождаться при нагревании и на фиксировании параметров протекающего при этом тока. График тока в функции температуры представляет собой спектр ТСТ, по характеру которого судят о механизмах, ответственных за проявление эффекта. ТСТ-анализ проводился в диапазоне 20–270°C при помощи прибора для измерения термостимулированных токов ST-1 (ОДО «Микротестмашины», Беларусь, г. Гомель) по методике разработчика.



а) б)
Рис. 1. ТСТ –спектры силикат содержащих частиц на основе кремня: а-кремень, б-механоактивированный кремь



а) б)
Рис. 2. ТСТ –спектры силикат содержащих частиц на основе аэросила: а-аэросил, б- кремь – 65 %, SiO₂ – 35 %. Композицию механоактивировали в течение 30 с при ускорении 20 g

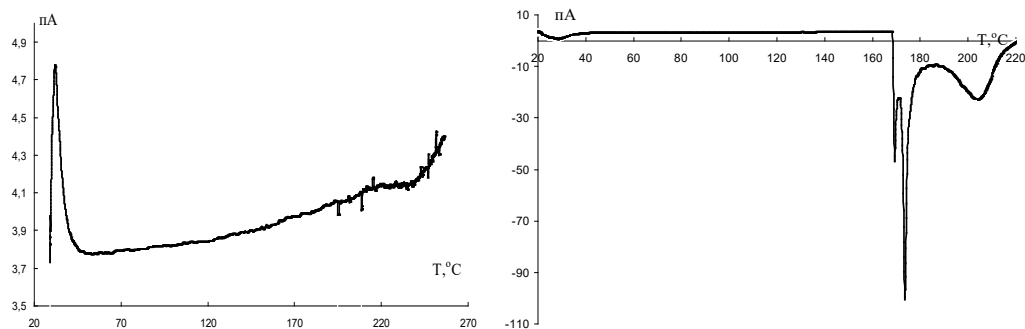


Рис. 3. ТСТ –спектры природных силикатсодержащих частиц. а-флогопит; б- мусковит.

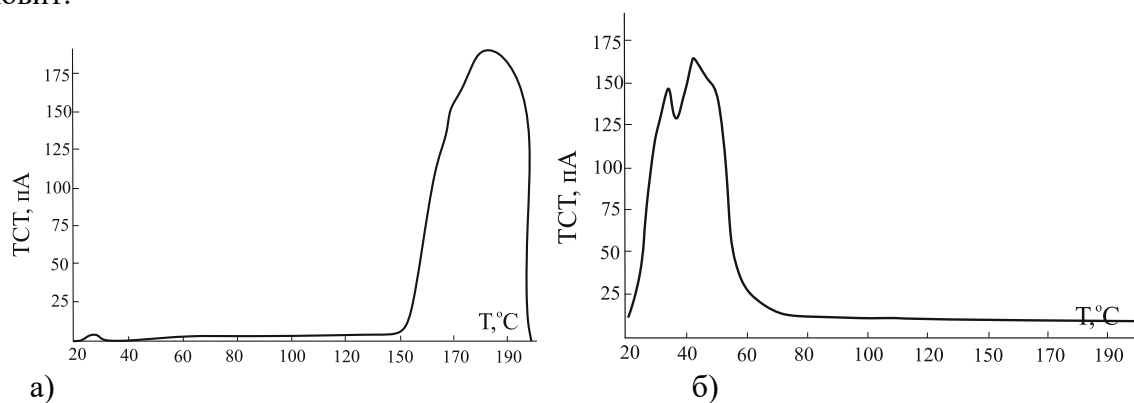


Рис. 4. ТСТ –спектр силикатсодержащих частиц, полученных из природного сырья. а) карбид кремния, б) шунгит.

ТСТ-спектр кремня характеризуется слабовыраженным пиком, максимум которого находится в области $\sim 27\text{ }^{\circ}\text{C} - 29\text{ }^{\circ}\text{C}$, максимальная интенсивность составляет 3,2 пА. Для кремня характерен, скорее всего, гетерозаряд, который с течением времени уменьшается до некоторой постоянной величины, определяемой как структурой материала, так и внешними условиями, при которых находится образец. Проведение механоактивации кремня приводит к смещению максимума пика термостимулированных токов в область $33\text{ }^{\circ}\text{C} - 37\text{ }^{\circ}\text{C}$ и увеличению интенсивности пика ТСТ примерно в 3 раза ($I_{\text{max}} \sim 10\text{ пА}$). В случае механоактивации кремня, скорее всего, приобретает гомозаряд, который проходит через максимум и затем мало изменяется. Исследования методом термостимулированной деполяризации показали наличие в спектре ТСТ аэросила максимума, находящегося в температурной области $T \sim 39\text{ }^{\circ}\text{C} - 41\text{ }^{\circ}\text{C}$, с интенсивностью пика $I_{\text{max}} \sim 0,32\text{ пА}$. Для аэросила характерен гомозаряд [5].

Исходя из проведенных исследований видно, что наименее активным с точки зрения зарядовой активности является аэросил; механоактивированный кремь обладает максимальной зарядовой активностью. Проведение механоактивации усиливает зарядовые эффекты в исходных материалах. Совместная механоактивация аэросила с кремнем уменьшает зарядовую активность в сравнении с механоактивированным кремнем, но в сравнении с исходными материалами наблюдается резкое увеличение активности у полученной композиционной системы [5]. Шунгит характеризуется широким температурным диапазоном зарядовой активности от $20 - 80\text{ }^{\circ}\text{C}$ и эффективен скорее всего к применению в композиционных материалах холодного отверждения, например эпоксидных, полиэфирных,

мочевиноформальдегидные смолах и т.п. Для модифицирования термопластичных полимерных матриц наиболее перспективно использование нанодисперсных частиц карбида кремния, получаемого по технологии термолиза природного сырья, содержащего данное химическое соединение. В настоящее время потребности промышленности в данном сверхтвердом соединении (SiC) обеспечивают частицы, получаемые по методу Ачесона с использованием твердофазных химических реакций при высоких температурах. Однако данные частицы получают с высоким содержанием металлических соединений, используемых в качестве катализаторов при производстве продукта. Наличие данных дополнительных химических включений ухудшают характеристики низкоразмерных частиц SiC и затрудняют их применение, в частности, в радиоэлектронной промышленности. Использование процесса термолиза с предварительной химической обработкой природного сырья позволяют получить частицы карбида кремния повышенной чистоты. Проведенные исследования по изучению зарядовой активности частиц карбида кремния, полученного по данной технологии показало наличие интенсивного пика в спектре ТСТ в области 150-190°C, что свидетельствуют о высокой зарядовой активности кремнийсодержащего материала. Температурный интервал зарядовой активности SiC находится в области переработки большинства термопластичных полимеров. Возможно предположить о существенном влиянии частиц карбида кремния, полученного из природного сырья на структуру и физико-механические характеристики термопластичных полимерных композитов при допинговых содержаниях модификатора. Механизмом объясняющим модифицирующее действие данных частиц является образование лабильной сетки физических связей в матрице полимера между частицами модификатора и молекулами полимера.

Таким образом, проведен анализ активности существующих низкоразмерных силикатсодержащих частиц, применяемых для модифицирования полимерных матриц. Показано перспективность применения ультрадисперсных частиц SiC, получаемых из природного сырья методом термолиза для модифицирования термопластичных полимерных материалов.

Список литературы. 1. Гуль, В. Е. Основы переработки пластмасс. / В. Е. Гуль, М. С. Акутин – М. : Химия, 1985 – 400 с. 2. Гороховский, Г. А. Поверхностное диспергирование динамически контактирующих полимеров и металлов / Г. А. Гороховский. – Киев: Наукова думка, 1972. – 152 с. 3. Казале, Л. Реакции полимеров под действием напряжений / Л. Казале, Р. Портер; под ред. А. Я. Малкина. – Л. : Химия, 1983. – 440 с. 4. Найнике, Г. Трибохимия / Г. Найнике. – М. : Мир, 1987. – 583 с. 5. Эйсымонт, Е.И. Термопластичные композиты с повышенными параметрами эксплуатационных характеристик, полученные направленными энергетическими воздействиями : автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.16.09 / Е. И. Эйсымонт; Учреждение образования "Гродненский государственный университет имени Янки Купалы". – Минск, 2015. – 23 с.

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДОВ ОРГАНИЗАЦИИ УЧЕБНОГО ПРОЦЕССА С ПРИМЕНЕНИЕМ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Павлыш В.Н., Зайцева М.Н. (ДонНТУ, ДонГУ, г. Донецк, ДНР)
Тел. +38 (062) 301 03 91; E-mail: pavlyshvn@mail.ru

Аннотация: Рассмотрена задача совершенствования организации учебного процесса на основе применения виртуальных компьютерных средств.

Ключевые слова: учебный процесс, технология, виртуальный объект, информация, система.

Abstract: The problem of improving the organization of the educational process based on the use of virtual computer tools is considered.

Key word: educational process, technology, virtual object, information, system.

Актуальность работы: Одним из важнейших требований к современному специалисту является умение оперативно пользоваться научной информацией в своей профессиональной деятельности. Особенно важна эта проблема при решении задач развития и совершенствования организации учебного процесса в университете. В этой связи тема статьи является актуальной.

Цель работы – обоснование способа виртуальной лаборатории, как средства совершенствования учебного процесса в современных условиях.

Основное содержание работы. Электронное обучение, реализуемое образовательными организациями, должно включать в себя не только учебно-методические комплексы по дисциплинам (модулям), но и программное обеспечение, направленное на освоение профессиональных компетенций. Оптимальным способом формирования компетенций являются виртуальные лаборатории, смоделированные в электронной образовательной среде на объектах реального мира.

Создание виртуальных лабораторий позволяет, с одной стороны, проводить эксперименты с оборудованием и материалами, соответствующими реальной лаборатории, с другой – ознакомиться с компьютерной моделью по освоению практических навыков и умений в профессиональной деятельности. Можно отметить, что не каждое образовательное учреждение может позволить себе закупить дорогостоящее оборудование, которое требует затрат при техническом обслуживании, приобретения расходных материалов, а главное, замены при его усовершенствовании. Универсальность виртуальных лабораторий компенсируют данные недостатки.

Виртуальная лаборатория представляет студентам комплекс задач различных предметных областей, виртуальные инструменты для формализации условия процесса, средства для решения проблемы; учителям – постоянный контроль, диагностику освоения материала. Таким образом, студенты самостоятельно могут формировать практические умения и навыки в удобное для них время, не ограничивая себя временем и территориальной отдаленностью от образовательной организации.

Так можно выделить главные преимущества виртуальных лабораторий от реальных:

- отсутствие необходимости приобретения дорогостоящего оборудования и реактивов;
- возможность моделирования процессов, протекание которых принципиально невозможно в лабораторных условиях;
- возможность проникновения в тонкости процессов и наблюдения происходящего в другом масштабе времени, что актуально для процессов, протекающих за доли секунды или, напротив, длящихся в течение нескольких лет;

- безопасность;
- в связи с тем, что управлением виртуального процесса занимается компьютер, появляется возможность быстрого проведения серии опытов с различными значениями входных параметров, что часто необходимо для определения зависимостей выходных параметров от входных;
- экономия времени и ресурсов для ввода результатов в электронный формат;
- возможность использования виртуальной лаборатории в дистанционном обучении, когда в принципе отсутствует возможность работы в лабораториях университета.

Электронный учебник, как универсальный подход, удовлетворяет критериям выбранной дисциплины. Из преимуществ можно отметить структурированность и информации, и возможность навигации по учебнику. Также стоит отметить, как правило, малый размер подобного типа файлов. Недостатком является невозможность решения и проверки задач внутри электронного курса – электронный учебник может предоставить пример решения задач, примеры задач для самоконтроля и ответы к ним, но не более того.

Метод видео также удовлетворяет требованиям к разработке электронного курса по данной дисциплине. В отличие от текстовых, видео обладает большим размером файлов, неудобнее в плане навигации и невозможностью цитирования. Однако видео обладает больше наглядностью. Недостаток такой же, как и у электронного учебника.

Преимущество игр над текстовыми и видео форматами в возможности решения и проверки задач внутри курса. Наличие встроенных программных модулей статистических методов – главная особенность данного подхода.

Наиболее подходящим примером в методе игр для изучения выбранной дисциплины подойдет виртуальная лаборатория. Она в полной мере раскрывает практическую сторону изучения дисциплины «Эмпирические методы программной инженерии».

Однако для того, чтобы составленный электронный курс был полноценным, виртуальная лаборатория должна содержать теоретическую информацию не только по моделированию процессов решения задач, но и по всей дисциплине, чтобы стать независимым электронным курсом.

Стоит отметить, что к разработке виртуальных лабораторий следует подходить тщательнее, чем к ранее рассмотренным методам. Основная идея виртуальных лабораторий состоит именно в проведении исследований, опытов. Теоретическая информация и документация к проведению исследований не являются основными элементами в изучении данной дисциплины. Теория должна быть структурированной и являться, в первую очередь, приложением к процессу проведения исследований. Также поскольку виртуальная лаборатория является программой, то и созданный интерфейс должен быть грамотно составленным: не загроможденным, ёмким, интуитивно понятным [1].

Общая схема работы программы, исходя из описанных в пункте 1 функциональных требований, представлена на рисунке 1.

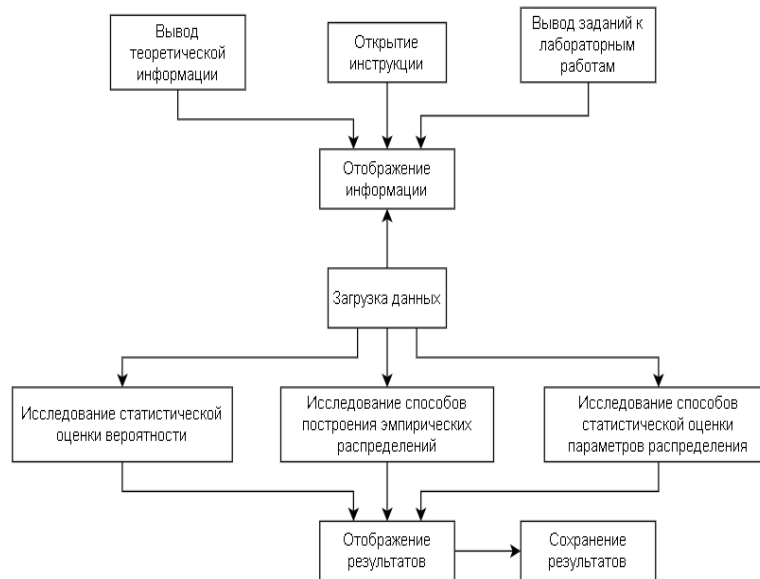


Рис. 1. Общая схема работы программы

Схема взаимодействий форм и потоков данных представлена на 2.

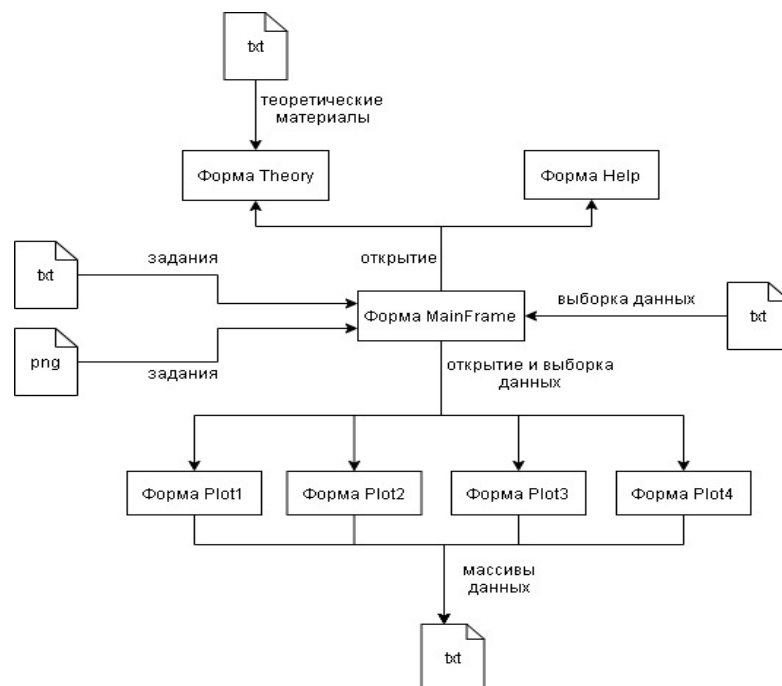


Рис. 2. Взаимодействие между формами виртуальной лаборатории.

Динамика развития общества определяется эффективностью использования ресурсов. Знания стали не менее важным экономическим ресурсом. И потребности развития общества вызвали необходимость появления эффективных способов приобретения знаний, в том числе и за счет использования новых форм организации обучения.

Не так давно в педагогической среде появился термин «электронное обучение» (от англ. Electronic Learning). Под электронным обучением понимается организация

образовательной деятельности с использованием информационных технологий, технических средств, включая телекоммуникационные сети, обеспечивающие передачу по каналам связи необходимой информации, взаимодействие обучающихся и педагогических работников.

Такая организация обучения опирается на применение информационно-коммуникационных технологий (ИКТ), таких как компьютерные технологии обучения, интерактивные мультимедиа, обучение на основе веб-технологий, онлайн обучение, и т.п. Термин «электронное обучение» вытесняет ранее широко используемый термин «дистанционное обучение». Связано это с тем, что массовое применение ИКТ в образовательных организациях приводит к размыванию граней между дистанционным и традиционным обучением внутри образовательного учреждения. Интеграцию дистанционного и контактного способа организации учебного процесса на основе ИКТ и отражает термин «электронное обучение».

Кроме того, приемы электронного обучения вносят значительные изменения в общепринятые подходы к образовательному процессу, а также определяют снятие ограничений и повышение доступности образования

Выводы. Чтобы создание электронных курсов было целесообразным, необходимо поддерживать качество преподавания материала на таком же уровне, что и традиционное обучение. Для этого разработчик должен:

- проанализировать особенности дисциплины для правильного составления способа и плана обучения;
- выбрать наиболее подходящие подходы электронного обучения, исходя из специфических черт данной дисциплины. Особенность таких систем как iSpring Suite в том, что они являются простыми в освоении, адаптивными к их дальнейшему использованию в web-технологиях, а также имеющими продвинутые редакторы для создания разных элементов в электронном обучении (презентации, диалоги, тесты и т.д.).

Список литературы: 1. Принципы создания виртуальных лабораторий в инженерном образовании [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://sites.google.com/site/sredstvarazrabotkisimulacij/principy-sozdania-virtualnyh-laboratorij-v-inzenernom-obrazovanii>. 2. Болкунов, И. А. Электронное обучение: проблемы, перспективы, задачи / И. А. Болкунов. // Творческий научный обозреватель, №11, 2016. – С. 128-132. 3. Столбунская, А.С. Автоматизация процесса обучения при помощи виртуальных лабораторий / А.С. Столбунская, И.Д. Паламарчук, Д.М. Бочаров // Информатика, управляющие системы, математическое и компьютерное моделирование в рамках III Международного Научного форума Донецкой Народной Республики (ИУСМКМ-2017): VIII Международная научно-техническая конференция, 25 мая 2017 – Донецк: ДонНТУ, 2017. – С. 406-409. 4. Эмпирические исследования. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://ru.wikipedia.org/wiki/Эмпирические_исследования. Уотермен. Руководство по экспертным системам.- М.: Мир, 1980. 9. Д. Элти, М. Кумбс. Экспертные системы: концепции и примеры.- М.: Финансы и статистика, 1987.

МОДИФИКАЦИЯ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ С УЧЕТОМ ОСОБЕННОСТЕЙ УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ ПРОЦЕССОМ ГИДРОПНЕВМАТИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА УГОЛЬНЫЙ ПЛАСТ

Павлыш В.Н., Лазебная Л.А. (ДонНТУ, г. Донецк, ДНР)
Тел. +38 (062) 3010391; E-mail:

Аннотация. Рассматривается задача совершенствования блока математического моделирования в системе автоматизированного управления нелинейным нестационарным процессом комплексного гидропневматического воздействия на угольный пласт с учетом его анизотропии.

Ключевые слова: система, математическая модель, процесс, алгоритм, анизотропия.

Abstract. The problem of improving the mathematical modeling unit in the automated control system of a nonlinear non-stationary process of complex hydropneumatic action on a coal seam, taking into account its anisotropy, is considered.

Key words: system, mathematical model, process, algorithm, anisotropy.

Актуальность работы. Основной проблемой при выполнении воздействия является поддержание стабильных технологических параметров процесса в условиях анизотропии фильтрационных, прочностных и коллекторских свойств обрабатываемых массивов. Для решения этой задачи наиболее приемлемым способом является разработка системы автоматического или автоматизированного управления, первым и основным этапом которой является построение проекта. Физически процесс гидравлического воздействия представляет собой нагнетание жидкости в массив, обладающий системой пор и трещин, с целью либо развития этой структуры, либо, наоборот, тампонажа и цементации структуры массива. Важной частью системы автоматизированного управления является блок математического моделирования, позволяющий выполнять имитацию процесса. В этой связи работа является актуальной.

Цель работы – развитие и совершенствование содержания блока математического моделирования в структуре системы автоматизированного управления процессом воздействия.

Основное содержание. Для построения системы управления необходимо разработать средства имитации процесса, которые включаются в структуру системы. Основным методом является математическое моделирование процесса.

Важнейшим этапом разработки технологических систем является построение математической модели объекта или процесса. На базе математической модели объекта, формируются критерии качества и ограничения, выбираются структура и параметры проекта системы, технические средства реализации. Основным фактором, определяющим полноту и точность математической модели, является цель моделирования.

Существует два основных метода построения математических моделей:

1) разработка модели на базе физических законов протекания процессов, в частности, законов гидро – и газодинамики;

2) экспериментально-статистические методы построения модели.

Экспериментально-статистические методы сводятся к построению весовой (импульсной переходной) функции объекта, которая полностью определяет его статистические и динамические свойства [1]. На базе экспериментальных данных, полученных в процессе нормального функционирования объекта, определяются весовые функции различных одномерных каналов

Экспериментально-статистический метод построения моделей обладает рядом

недостатков: требует большого количества труднодоступной информации о процессе, получаемые модели работают лишь в узком диапазоне изменения параметров. В силу указанных недостатков экспериментально-статистический метод не нашел широкого использования на практике.

Для математического моделирования технологических процессов газовой обработки более удобным в инженерном отношении и универсальным является первый метод построения, базирующийся на физических законах газовой динамики.

Построение модели на базе физических законов сводится к следующим этапам:

- 1) обоснование и выбор структуры математической модели на основании физических соображений и целей моделирования;
- 2) оценивание параметров модели по имеющимся данным о процессе;
- 3) проверка адекватности математической модели реальному процессу.

В процессе воздействия имеет место необходимость отслеживать результаты обработки, чтобы обеспечить направленное изменение состояния обрабатываемого массива. Реализация управления такими процессами, использующая данные о внешних воздействиях, возможна только в том случае, когда имеется модель объекта или возможность ее построения в процессе воздействия, основываясь на результатах контроля технологических параметров (давление нагнетания P и скорость его изменения dP , расход нагнетаемого вещества или темп нагнетания и скорость его изменения Q , dQ) и тем явлениям, которые можно наблюдать (в частности, пиковые всплески значений параметров, прорывы нагнетаемого вещества и т.п.). В этой связи стоит задача разработки адекватных моделей, по которым можно оценить состояние объекта и получить информацию о результатах воздействия [2, 3].

Для того чтобы система автоматического управления (САУ) была эффективной в течение всего времени обработки пласта с целью снижения пылеобразования и газовыделения, модели необходимо использовать в режиме реального времени, а с другой стороны, фильтрационные характеристики пласта являются фактически случайными величинами, значения которых задаются изначально по усредненным данным геологоразведки. В создавшихся условиях принят следующий подход.

Разрабатываемая САУ в своем составе использует две модели:

- исходная модель горного массива с заложенными в нее характеристиками, полученными из геологических данных;
- прогнозная модель, отражающая ожидаемое состояние на текущий момент, исходя из информации о результатах воздействия в реальном времени.

Такой подход позволяет уйти от процедуры идентификации параметров объекта воздействия (коэффициент фильтрации, эффективная пористость, коэффициент анизотропии и др.).

Исходная модель закладывается в базу данных (БД) САУ и после первого цикла воздействия одновременно с выполнением последующих циклов осуществляется контроль технологических параметров (P , dP , Q , dQ) и по его результатам корректируется локальное распределение значений характеристик. Это дает возможность выявления и предупреждения возможных пиковых выбросов и прорывов (по направлению и величине изменения параметров), определяемых анизотропией угольного пласта.

Важное значение в процессе обработки имеет возможность прогноза не всегда предсказуемой вариации параметров в результате реакции пласта на внешнее силовое воздействие.

Резкие колебания значений параметров процесса, вызванные характером изменения физических свойств и структуры угольного пласта, оказывают

отрицательное влияние на качество обработки пласта жидкостями и эффективность процесса гидровоздействия как средства борьбы с проявлениями опасных и вредных свойств угольных массивов, и первой задачей системы управления процессом является стабилизация технологических параметров.

Вместе с тем, отмечается другой аспект проблемы, заключающийся в том, что выходные каналы насосов, подающих жидкость в скважины, непосредственно гидравлически связаны с входными каналами работающих скважин, при этом режим работы насосов во многом зависит от размаха колебаний давления на скважине и, соответственно, темпа нагнетания. В этой связи возникает опасность гидроудара, когда поток фильтрующейся жидкости встречается с водоупором, определяемым резким снижением проницаемости и этот феномен сопровождается катастрофическим ростом локального давления, которое передается к устью скважины и выхлопу насоса. Такого рода явления приводят к повышенному износу оборудования, следовательно, в системе управления процессом этот аспект должен быть предусмотрен и скомпенсирован.

Поскольку фактические значения проницаемости пласта в каждый конкретный момент определены быть не могут, ставится задача прогноза изменения фильтрационных характеристик на основании математической модели, учитывающей стохастический характер изменения проницаемости.

Физика процесса такова, что в массиве происходят фазовые переходы, свидетельствующие об изменениях в структуре обрабатываемой зоны пласта. Одним из ключевых показателей, отражающих резкие изменения структуры на коротких промежутках пространства и времени, является наличие пиковых всплесков значений параметров воздействия, по величине и длительности которых формируется оценка состояния, используемая в прогнозной модели, а также для коррекции параметров базовой (исходной) модели.

Отмечаемые пиковые всплески, не будучи своевременно учтены и скомпенсированы, могут вызвать ряд негативных последствий:

- гидроудары в гидропневматической системе с возможным выходом из строя технологического оборудования;
- затраты на восстановление работоспособности системы и возможно необходимый ремонт оборудования;
- снижение эффективности воздействия на угольный пласт;
- дополнительные затраты энергии и материальных ресурсов.

Данные, полученные по прогнозной модели, закладываются в исходную модель, которая корректируется в режиме реального времени и является базовой для расчета заданий на параметры управляющей системы, предназначенные для осуществления последующих циклов воздействия. Скорректированные данные записываются в БД и могут быть впоследствии использованы при управлении обработкой последующих участков пласта.

Для осуществления прогноза предлагается в каждом цикле опроса датчиков вводить информацию о распределении проницаемости в трех точках сеточной модели, реализующей решение уравнений методом конечных разностей, по каждому из направлений от расчетного узла сетки.

Фактически, на каждом шаге моделирования, находясь в узле (x_i, y_j) , необходимо анализировать проницаемость в тридцати шести узлах $(i, j = -3, -2, -1, 1, 2, 3)$. Учитывая данные прогноза, можно своевременно скорректировать величину темпа нагнетания, не дожидаясь, когда скачок давления будет отмечен на скважине.

Следует отметить, что по результатам воздействия может быть фактически определена структура обрабатываемого пласта, однако эта картина формируется уже после реализации процесса, т.е. когда объект воздействия фактически разрушен. Это

лишний раз говорит о том, что управление подобным процессом возможно исключительно с применением математических моделей, которые закладываются в структуру САУ. В процессе функционирования они корректируются и могут быть использованы в режиме обучающих при построении соответствующих алгоритмов обучения и настройки систем управления воздействия на новые объекты.

Выводы: Математическое моделирование является базовым атрибутом системы автоматического управления, рассматриваемым сложным динамическим процессом. Для повышения качества обработки и эффективности процесса блок математического моделирования необходимо постоянно совершенствовать и дополнять новыми алгоритмами с учетом развития технологии и изменения характера строения угольных пластов.

Список литературы: 1. Сусленков Б.Д., Павлыш В.Н. Совершенствование режимов насыщения угольного пласта текучим // Добыча угля подземным способом. – М.: ЦНИЭИуголь, 1978. – №7(139). – С.32-33.. 2. Бурков В.К., Ириков В.К. Модели и методы управления организационными системами. – М.: Наука, 1994. – 346с. 3. Подчукаев В.А. Теория автоматического управления (аналитические методы): учебное пособие / В.А. Подчукаев. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2005. – 392с. 4. Белозеров В.Е. Геометрический подход к проблеме стабилизации систем управления: монография / В.Е. Белозеров, С.А. Волкова. – Днепропетровск : Изд-во ДНУ, 2006. – 440 с. 5. В.Н. Павлыш, Л.А. Лазебная, О.В. Чеснокова Автоматизация контроля и управления процессом нагнетания жидкости в пласт // Матер. 4-го междунар. науч.-техн. сем. «Практика и перспективы развития институционального партнерства». – Донецк-Таганрог, 2003. – Т.1. – С.61-67.

ФОРМИРОВАНИЕ БЛОКА АЛГОРИТМИЧЕСКОГО И ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СХЕМ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

Павлыш В.Н., Перинская Е.В. (ДОННТУ, г. Донецк, ДНР)
Тел. +38 (062) 301 03 91; E-mail: elenaperinskaya@mail.ru

Аннотация: Рассматривается задача разработки математических моделей и алгоритмов их реализации при формировании пакета алгоритмического и программного обеспечения системы автоматизированного проектирования технологических схем термодинамических процессов.

Ключевые слова: проектирование, процесс, параметр, система, алгоритм.

Annotation: The problem of developing mathematical models and algorithms for their implementation in the formation of a package of algorithmic and software systems for computer-aided design of technological schemes of thermodynamic processes is considered.

Key words: design, process, parameter, system, algorithm.

Актуальность работы: Реализация термодинамических процессов требует всестороннего исследования и расчетов рациональных параметров технологических схем.

Ввиду сложности процесса математическое описание формируется в виде группы нелинейных уравнений математической физики, алгоритмы исследования строятся на основании конечно-разностных методов. В результате компьютерных экспериментов осуществляется выбор параметров технологических процессов. Таким образом, алгоритмическое и программное обеспечение является важной частью системы автоматизированного проектирования. В этой связи тема работы является актуальной.

Цель работы – расширение блока алгоритмического и программного обеспечения системы автоматизированного проектирования технологических схем термодинамических процессов.

Основное содержание работы. Основные задачи исследования:

1. Анализ современных тенденций в области автоматизации проектирования технологических схем.
2. Исследование характеристик технологических схем термодинамических процессов.
3. Постановка задачи автоматизации проектирования технологических схем.
4. Разработка структуры системы автоматизированного проектирования технологических схем термодинамических процессов.
5. Разработка математического обеспечения системы автоматизированного проектирования технологических схем термодинамических процессов.
6. Разработка рекомендаций по применению системы автоматизированного проектирования.

Объект исследования. Система автоматизированного проектирования технологических схем термодинамических процессов.

Предмет исследования. Математические модели процессов и структура системы автоматизированного проектирования.

Важнейшим этапом разработки технологических систем является построение математической модели объекта или процесса. На базе математической модели объекта, формируются критерии качества и ограничения, выбираются структура и

параметры проекта системы, технические средства реализации. Для технологических процессов тепловой обработки материалов могут быть построены различные по полноте и сложности описания математические модели. Основным фактором, определяющим полноту и точность математической модели, является цель моделирования.

Существует два основных метода построения математических моделей:

- 1) разработка модели на базе физических законов протекания процессов, в частности, законов тепломассопереноса;
- 2) экспериментально-статистические методы построения модели.

Экспериментально-статистические методы сводятся к построению весовой (импульсной переходной) функции объекта, которая полностью определяет его статистические и динамические свойства [1]. На базе экспериментальных данных, полученных в процессе нормального функционирования объекта, определяются весовые функции различных одномерных каналов типа "температура греющей среды в зоне, температура материала на выходе из зоны" [1] и т.д.

Экспериментально-статистический метод построения моделей обладает рядом недостатков: требует большого количества труднодоступной информации о процессе, получаемые модели работают лишь в узком диапазоне изменения параметров. В силу указанных недостатков экспериментально-статистический метод не нашел широкого использования на практике.

Для математического моделирования технологических процессов тепловой обработки материалов более удобным в инженерном отношении и универсальным является первый метод построения, базирующийся на физических законах теплопередачи: излучение (законы Планка, Стефана-Больцмана, Ламберта и др.), конвекция (закон Ньютона-Рихмана), теплопроводность (закон Фурье).

Построение модели на базе физических законов сводится к следующим этапам:

- 1) обоснование и выбор структуры математической модели на основании физических соображений и целей моделирования;
- 2) оценивание параметров модели по имеющимся данным о процессе;
- 3) проверка адекватности математической модели реальному процессу.

Одним из широко применяемых на практике термодинамических процессов является процесс сушки сыпучих материалов по способу «кипящего слоя».

Существуют различные способы сушки материалов:

- а) конвективный, когда тепло, необходимое для испарения влаги, передается от сушильного агента сушильному материалу при непосредственном их соприкосновении;
- б) контактный, когда тепло, необходимое для испарения влаги, передается материалу от горячей поверхности при непосредственном ее контакте с материалом;
- в) радиационный, когда тепло, необходимое для испарения влаги, передается материалу инфракрасными лучами от электроламп или нагретых излучающих поверхностей;
- г) сушка материалов сублимацией — в замороженном состоянии при глубоком вакууме;
- д) способ химической сушки путем предварительной пропитки материалов в водных растворах солей;
- е) сушка токами высокой частоты, когда температура внутри материала повышается и в результате этого влага из внутренних слоев быстро перемещается к наружной поверхности и испаряется в окружающую среду;

ж) комбинированные способы сушки; конвективно-контактная сушка, сушка токами высокой частоты в комбинации с конвективной, терморadiационной и т. п.

Классификация сушилок согласно [2, 3, 4] приведена ниже (табл. 1).

Графически классификация может быть представлена в виде схемы, обобщающей все указанные признаки (рис. 1).

Рассмотрим основные особенности сушильных агрегатов, применяемых на практике: барабанные газовые сушилки; газовые трубы-сушилки; паровые трубчатые сушилки; сушилки кипящего слоя.

Таблица 1 Классификация сушильных установок

Признак классификации	Типы сушилок
По способу подвода тепла к материалу	Конвективные, контактные (сушка на горячих поверхностях), радиационные (сушка инфракрасными лучами), электрические (сушка в электрическом поле)
По давлению в рабочем пространстве	Атмосферные вакуумные
По способу действия	Периодического или непрерывного действия
Сушильный агент	Воздух, топочные газы, смесь воздуха с топочными газами, перегретый пар и инертные газы
По направлению движения сушильного агента относительно материала	С прямотоком, противотоком, перекрестным током и реверсивные
По характеру циркуляции сушильного агента	С естественной и принудительной циркуляцией
По способу нагрева сушильного агента	С паровыми воздухоподогревателями, огневыми воздухоподогревателями, путем смешения с топочными газами, с электронагревом
Схема нагрева сушильного агента	С централизованным подогревом, с подогревом индивидуальными агрегатами и с промежуточным Подогревом

На современном этапе дальнейшее развитие науки и техники немыслимо без всесторонней информатизации и автоматизации процессов. Особенно остро эта проблема стоит при проектировании новых устройств и процессов. Традиционные методы расчета параметров и проектирования носят экстенсивный характер, они были

эффективны до определенного момента – момента так называемого «насыщения», когда на первый план выдвигается необходимость перехода к интенсивным методам.

Среди средств интенсификации процессов исследования и проектирования выделяются системы автоматизированного проектирования.

В настоящее время известно несколько способов и технологических схем обезвоживания влажных сыпучих материалов, предназначенных для обеспечения требуемого качества конечного продукта в ряде отраслей промышленности. Применение способов и схем обезвоживания является завершающей стадией производственного цикла и определяется на стадии проектирования технологии производства.

Однако эффективность процесса не всегда в полной мере отвечает поставленным требованиям. Одной из причин этого является то, что на этапе проектирования предварительная оценка схем весьма затруднена ввиду сложности процесса. Применение математического моделирования позволяет улучшить качество принимаемых проектных решений. С этой целью разрабатывается подсистема автоматизированного проектирования технологических схем, призванная повысить качество проектов за счет эффективного применения компьютерных технологий для реализации трудоемких рутинных функций.

Процесс проектирования включает ряд этапов, в том числе рассмотрение и оценка вариантов проектов, обоснование и верификация принимаемых проектных решений. По мере усложнения технологий, расширения числа возможных вариантов проектов возникает необходимость автоматизации процесса проектирования с применением методов математического моделирования и ЭВМ.

Классификация основных видов технологии сушки приведена выше.

На рисунке 1 приведена функционально-логическая схема системы автоматизированного проектирования (САПр) технологии процесса сушки.

Как показывает практика организации работ по созданию сушильных агрегатов, наиболее перспективным направлением в технологии является сушка в «кипящем слое».

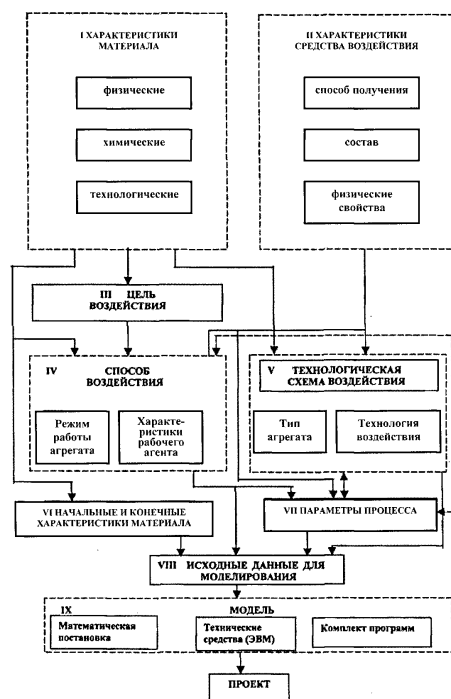


Рис. 1. Функционально-логическая схема системы автоматизированного проектирования технологических схем

Сушилка кипящего слоя позволяет увеличить продолжительность сушки материала во много раз и регулировать ее в очень широких пределах. Этот принцип сушки наиболее приемлем для таких материалов, продолжительность сушки которых исчисляется десятками секунд или минутами. Таким образом, сушка материалов в кипящем слое позволяет значительно расширить область применения метода сушки во взвешенном состоянии.

На рисунке 2 приведена обобщенная блок-схема алгоритма функционирования головной программы.

Блок 1 содержит информацию о составе и свойствах материала, поступающего на сушку. Информация представляется в виде массива или файла с как можно более полным набором характеристик.

В этом же блоке представляется информация о сушильном агенте, за счет воздействия которого создается эффект «псевдооживления».

В блоке 2 помещается информация о тех характеристиках конечного продукта, которые должны быть обеспечены в результате воздействия. Основные из них – это влажность на выходе и производительность аппарата, однако в процессе исследований могут быть рассмотрены и другие показатели.

Блок 3 – основной расчетный блок. Здесь выполняется численная реализация всех математических моделей, включаемых в предметную область САПр. На данном этапе это математические модели распределения температуры материала в камере сушилки, скорости частиц и концентрации обрабатываемого материала.

Как результат работы блока получают значения указанных параметров и вычисляются все другие величины, характеризующие показатели работы установки.

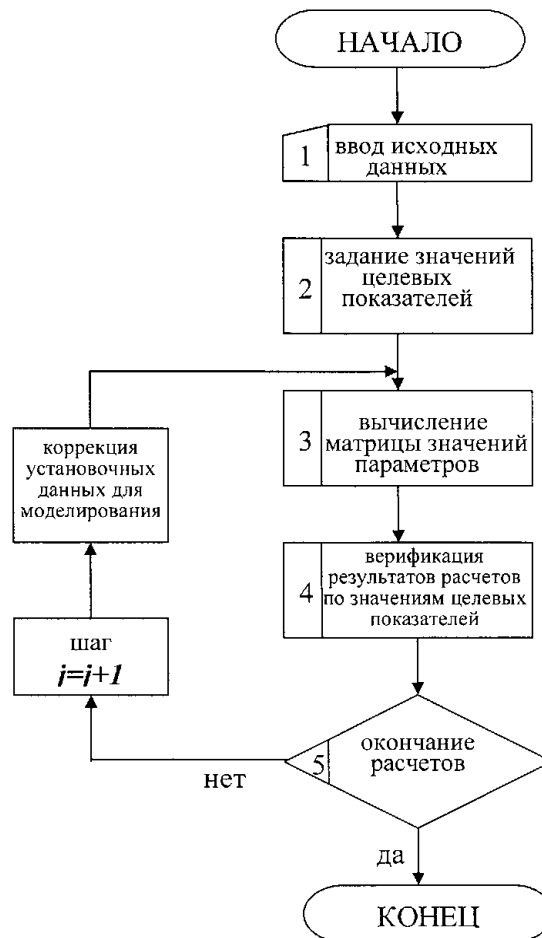


Рис. 2. Блок-схема алгоритма головной программы

В блоке 4 выполняется верификация расчетных значений параметров по заданным значениям показателей, определяющих требования к конечному продукту. Верификация может быть построена как по принципу «консесуса», когда отклонение хотя бы одного параметра вызывает необходимость коррекции исходных данных и повторения моделирования, так и по интегральному принципу с использованием, например, метода наименьших квадратов.

Основным преимуществом системы автоматизированного проектирования является то, что с ее помощью удастся получить достаточно полную информацию о различных вариантах проекта, при этом избежать массы рутинных операций и необходимости проведения значительного количества дорогостоящих экспериментов.

Список литературы: 1. Ковалко М.П. Энергозбереження – пріоритетний напрямок державної політики України / М.П. Ковалко, С.П.Денисюк. - К: Техніка, 1998.– 726 с. 2. Филиппов В.А. Конструкция, расчеты и эксплуатация устройств и оборудования для сушки минерального сырья / В.А. Филиппов – [2-е изд., перераб. и доп.] – М.: «Недра», 1989. – 309 с.: илл., табл. 3. Филиппов В.А. Технология сушки и термоаэроклассификации углей / В.А. Филиппов – М: «Недра», 1987.– 286 с.: илл. 4. Филиппов В.А. Техника и технология сушки угля / В.А. Филиппов – М: «Недра», 1975.– 287 с.: илл. 5. Сушилки «кипящего слоя» в США: Обзор / Благов И.С., Филиппов В.А. – М: ЦНИЭИуголь, 1978. – 55с.: илл. 6. Кузнецова Н.С. Сушка сыпучих материалов в псевдооживленном слое с переменным полем температур и скоростей / Н.С. Кузнецова, Г.Л. Грошев, А.Н. Лабутин // – Химическая промышленность - вып. 6, 1979. – 42с. 7. Лыков А.В. Сушка в химической промышленности / А.В. Лыков – М: Химия, 1970. – 432 с.: илл. 8. . Александров А.Г. Синтез регуляторов многомерных систем / А.Г. Александров - М.: Машиностроение, 1986.– 272 с, ил. 9. Справочник по обогащению углей. / И.С. Благов, А.Н. Коткин, Н.А. Самылин; под ред. И.С. Благова – М.: «Недра», 1974.– 488 с.: илл. 10. Wang H., Li G., Lei Y., Shao Y., Dai Q., Wang J. Mathematical heat transfer model research for the improvement of continuous casting slab temperature. // The Iron and Steel Institute of Japan (ISIJ) International, vol. 45 (2005), No 9, pp. 1291–1296.

ОСОБЕННОСТИ ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ СТАЛИ

Папулова Г.Н. (МГТУ «Станкин», г. Москва, Россия)

E-mail: papulova_galina@mail.ru

Abstract: *Specific features of the surface steel layer are connected with microstructure and physico-chemical properties. Were studied the microstructures of the surface of steel without an oxide film and with an oxide film (beta-FeOOH predominates in the composition) in comparison with the surface of aluminosilicate ceramics to establish the comparative characteristics of these materials.*

Key words: *surface layer, pores, thickness, corrosion products, adsorption, paint.*

Актуальность темы.

Поверхностный слой детали – это слой, у которого структура, фазовый и химический состав отличаются от основного материала, из которого сделана деталь. Его можно рассматривать как открытую термодинамическую систему, способную обмениваться энергией и веществом с окружающей средой и характеризующую комплексом интенсивных характеристик. Поверхностный слой может иметь структуру: – исходную, которая возникает при затвердевании металла или сплава; – производную, которая получается из исходной структуры после рекристаллизации сплава в твердом состоянии вследствие фазовых преобразований или пластической обработки. От металлографической структуры зависят, в частности, твердость, пластичность, износостойкость, коррозионно-химическая стойкость, адсорбция, адгезия. Локально структура может иметь микротрещины, щели, поры, включения разного вида, вырывы, шаржированные (вдавленные) твердые частицы и т.д. Важнейшим эксплуатационным свойством поверхностного слоя является коррозионный износ, цвет, блеск, стойкость против старения. Повышение твердости поверхностного слоя изделий осуществляется за счет ХТО и достижения коррозионной стойкости. Лакокрасочные материалы, являются системами с полимерной дисперсионной средой. Они используются для удовлетворения нужд современной техники, например, антикоррозионные; спроса современного дизайна, например, декорирование различных видов керамических изделий и т.д. с учетом их экологической безопасности и экономической эффективности. Присутствие в стали различных металлов с неодинаковыми потенциалами говорит о структурной неоднородности поверхности, наличии множества гальванических пар. Интересно было рассмотреть специфические особенности поверхности стали, обусловленные ее микроструктурой и физико-химическими свойствами, в сравнении с поверхностью пористой керамики с учетом современных физико-химических и коллоидно-химических аспектов адгезионного металлополимерного контакта при адсорбции пленкообразователей данного ЛКМ[1].

Целью работы является изучение микроструктур поверхности стали без оксидной пленки и с оксидной пленкой при коррозии (в составе преобладает бета-FeOOH) в сравнении с поверхностью алюмосиликатной керамики; установить при этом сравнительные характеристики данных материалов.

Углеродистые низколегированные стали (ст) различных марок содержат C, Si, Mn, S и P, примерного химсостава [1]:

- C (0,14–0,20%);
- Si (0,12–0,35%);
- Mn (0,3–0,6%);
- S и P (0,02–0,03%);

• ост. – Fe. Конструкционные материалы, в основном представленные железоуглеродистыми сплавами, имеют в своей микроструктуре цементит FeC, твердые растворы феррита (раствор углерода в α -железо) и аустенита (раствор углерода в γ -железо). Добавки металлов типа Si, Mn, Co, Cr, Ni, Al, Mo, Ti в углеродистые легированные нержавеющие стали повышают ее качество. Термически обработанная сталь с отсутствием цементитной сетки имеет в своей микроструктуре перлит, основными компонентами которого являются диоксид кремния SiO₂ (65–75%), оксид алюминия Al₂O₃ (10–16%), оксид калия K₂O (до 5%), оксид натрия Na₂O (до 4%) и др. С учетом этого были рассмотрены микроструктуры этих материалов.

На рис. 1 представлена микроструктура поверхности стали

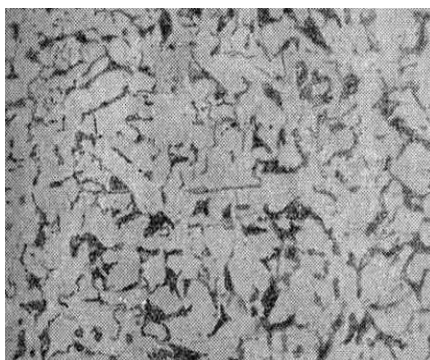


Рис.1. микроструктура стали (микрошлиф $\times 80$)

Из рисунка видна неоднородность структуры поверхностного слоя и величина степени неоднородности (без оксидной пленки)

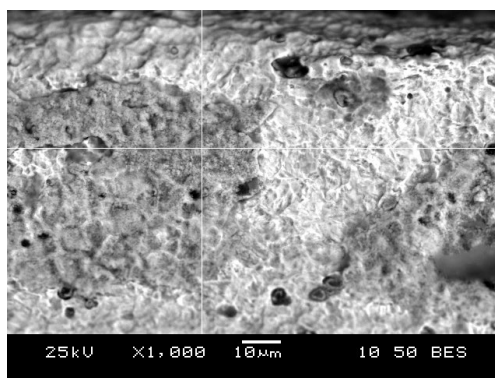


Рис.2. Микроструктура оксидной пленки на поверхности стали

Из рисунка видна неоднородность, а также и пористость гидратированного оксида железа (бета- FeOOH).

На рис.3 представлено строение поверхности пористого фаянса с силанольными группами и «плавающим» водородом.

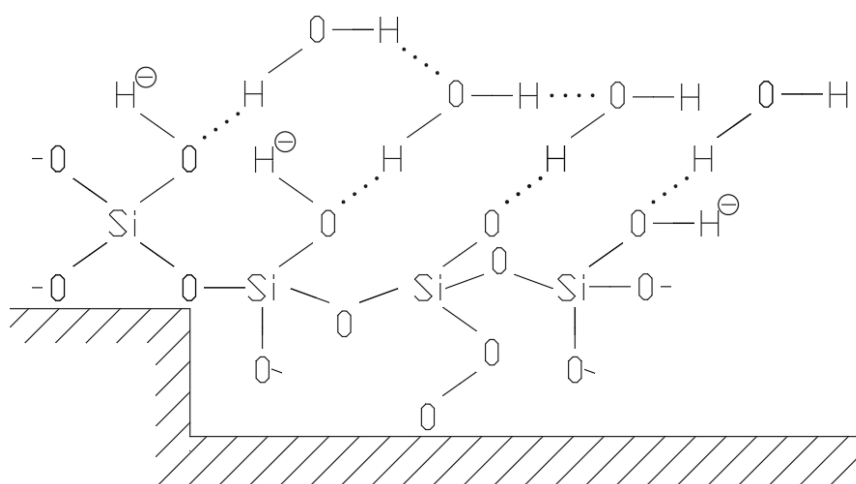


Рис.3. Строение поверхности фаянса(силанольные -SiOH группы, отрицательный поверхностный заряд O²⁻)

Известно о взаимодействии силанольных групп некоторых полимерных добавок с поверхностью стали с образованием связи железо-кислород и органического радикала добавки с полимером. За счет применения модифицированных добавок в лаковые композиции толщина ЛКП значительно снижается [2]. В результате полифункционального действия добавки снижаются размеры и скорость *коррозионных повреждений*.

Между адсорбционными свойствами связующих и их пропитывающей способностью существует определенная корреляция (обратная зависимость). Это происходит потому что при высоком адсорбционном взаимодействии пленкообразующих с продуктами коррозии в них могут перекрываться поры, что значительно снижает скорость пропитки и медленнее протекают процессы фазовых превращений продуктов коррозии[2].

Мы рассмотрели модификацию карбамидоформальдегидных олигомеров поликонденсационного типа поливиниловым спиртом в лакокрасочной композиции МЧ-578 для декорирования керамики. По технологическим соображениям, ранее экспериментально было обосновано влияние добавки ПВС на вязкость краски, кратность нанесения рисунка, пропитывающие свойства. Можно положить влияние поливинилового спирта на межмолекулярное взаимодействие в системе КФ-смола – пористый фаянс, т.к. его макромолекулы «цепляются» в порах, создавая скольжение, за счет чего улучшается пропитывающая способность смол. Однако, экспериментальное исследование показало, что добавление глицеринового раствора поливинилового спирта в краску для улучшения технологических свойств краски в большом количестве – 80 % мас. (к смоле) ухудшает физико-химические свойства покрытий из-за значительного повышения пропитывающей способности краски и замедления процесса пленкообразования (рис.3).

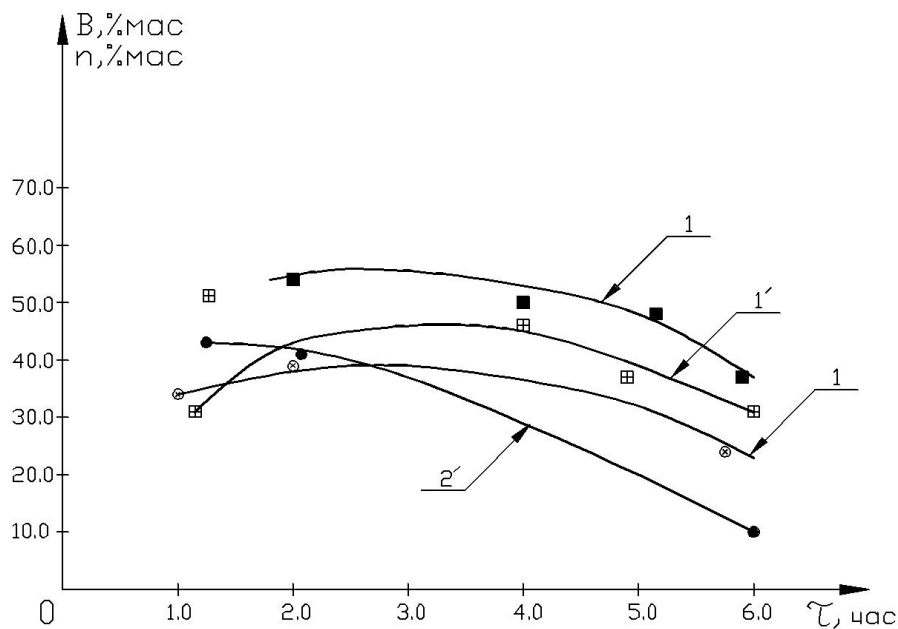


Рис.4. Зависимость величин влагопоглощения (В, % мас.) и смываемости (n, % мас.) в воде красочных покрытий на основе олигомеров КФ-Ж (1) (кривые 1¹, 2¹) и КФ-МТ (кривые 1, 2) для красочной композиции МЧ-578 (с добавлением ПВС) от времени отверждения покрытий на фаянсах различного модуля (М) (М=1,35 - кривые 1, 1¹ М=1,94 - кривые 2, 2¹)

Установлено, что количество ПВС в виде глицеринового раствора не должно превышать 80 % мас.

Выводы. В будущем: выявить зависимости микроструктуры и кислотно-основных свойств поверхностного слоя стали и ее сплавов от содержания в ней различных металлов (особенно Al, Si, Mn) существующими методами и составить представление о наличии на нем определенного типа активных функциональных групп; изучить влияние химсостава стали, макро- и микроструктуры, степени шероховатости и пористости поверхностного слоя, его кислотно-основных свойств на физико-химические и физико-механические свойства ЛКП; определить критерии и выявить химические характеристики поверхности для создания новых сталей с учетом современных требований антикоррозионной защиты; определить величины адсорбции и адгезии для определенного типа пленкообразователя ЛКМ на образцах Fe-C стали: с неодинаковой тщательностью обработки поверхности перед покраской, с различной структурной неоднородностью поверхностного слоя (наличие шероховатости, пористости), различным количеством металлов в своем составе (Al, Si, Mn), с поверхностью, не обработанной перед окраской;

По итогам исследований необходимо проанализировать и пересмотреть систему защиты поверхности стали антикоррозионными ЛКМ и выработать научно-обоснованный подход к созданию новых материалов в области машиностроения.

Список литературы: 1. Лакокрасочные покрытия» по ред.Е.И. Владычиной. - Москва.Изд-во» Химия»,1972. – 303с. 2. Н.В Федякова. Повышение защитных свойств химстойких ЛКП в воде и электролитах. Автореферат дисс. ...к.т.н.Москва,1991. 3.А.А.Зуев. Технология машиностроения.2е изд. – СПб,2003. – 496с.

ПОВЫШЕНИЕ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ЛОПАТОК ТУРБИНЫ С ПРИМЕНЕНИЕМ ПЕРСПЕКТИВНЫХ СПОСОБОВ ЗАКРЕПЛЕНИЯ

Пашков И.В., Семенов А.Н. (ФГБОУ ВО, РГАТУ им. П.А. Соловьева, г. Рыбинск, Россия)

Тел.: +7 905 132 6388; +7 980 743 9509;

E-mail: semenov.av@rsatu.ru; pashkov_ilya@mail.ru

Abstract: *In the manufacture of aircraft parts of a gas turbine engine, the main factor affecting the quality of products is to ensure the constancy of the assembly of workpieces in working devices. Ensuring the accuracy of the assembly is determined by the stability of the basing, which in turn is influenced by a number of certain factors, the main of which are: the complexity of the geometry of the pen and the shank of the blades, high requirements for the accuracy of the geometry, etc.*

Key words: *grinding, basing, productivity, cost, toolin.*

Газотурбинные двигатели (ГТД) являются основным типом двигателей в современной промышленности. Применение ГТД получило широкое распространение во всех сферах деятельности человека. С появлением газотурбинного двигателя стали создаваться такие промышленные комплексы, как газокompрессорные станции, наземные энергетические установки [1]. Основное применение, газотурбинные двигатели получили в авиационной промышленности.

Газотурбинные двигатели – классический пример сложнейшего устройства, детали которого работают длительное время в условиях предельно высоких температур и нагрузок. Основной целью совершенствования технических показателей современных ГТД является повышение коэффициента полезного действия (КПД). Существующие тенденции развития авиационных и наземных двигателей влекут за собой необходимость повышения ресурса и надежности изготавливаемых деталей. Ресурс выпускаемого изделия напрямую зависит от качества механической обработки деталей ГТД.

Лопатки турбины являются наиболее нагруженными деталями изделия, они и определяют эффективность, надежность и ресурс газотурбинных двигателей (рис. 1).

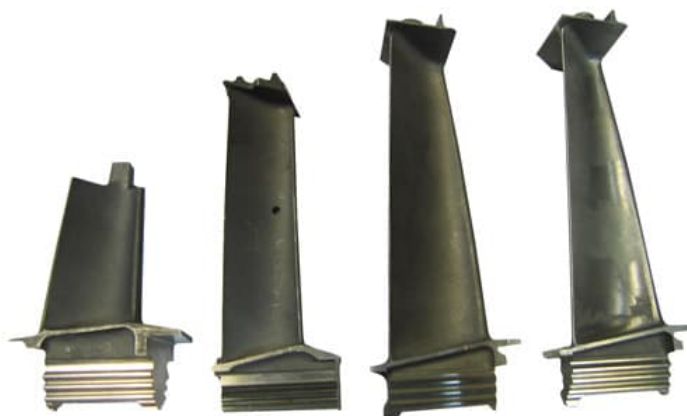


Рис.1. Разновидности лопаток турбины

С учетом требований, предъявляемых к точности размеров, формы и шероховатости, производство лопаток турбины сопровождается выполнением

специальных процессов механической обработки в виде глубинного шлифования хвостовой части.

Глубинное шлифование характеризуется большим съемом припуска от 0,1 до 5 мм. Глубинное шлифование позволяет выполнять изготовление плоских и фасонных поверхностей замковых частей лопаток турбины с высокой производительностью и качеством обработки [2]. При выполнении механической обработки лопаток турбины методом глубинного шлифования особое внимание уделяется проектированию станочной оснастки, так как точность и постоянство закрепления заготовок является основным фактором, влияющим на годность выпускаемой продукции [3].

В настоящее время, при обработке лопаток турбины применяются однопозиционные специальные станочные приспособления. Такие приспособления предназначены для закрепления одной детали, за определенные базирующие поверхности. Область применения данного типа приспособлений имеет прямые ограничения. При помощи данного приспособления возможна обработка одной единицы детали определенной геометрии. Для обработки деталей ГТД в однопозиционных специальных станочных приспособлениях применяется несколько единиц оборудования. Внешний вид однопозиционных станочных приспособлений для обработки детали приведены на рис. 2.

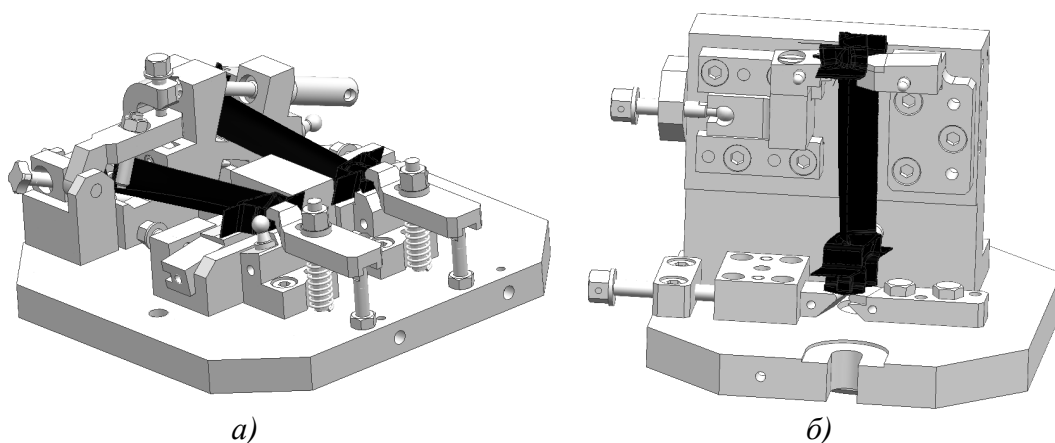


Рис. 2. Специальные однопозиционные станочные приспособления для обработки лопатки турбины: а) плоскости замковой части лопатки, б) поверхностей бандажной полки

Обработка деталей в однопозиционных приспособлениях предусматривает первоначальную подготовку баз под дальнейшую обработку хвостовой части лопатки. Этапы проектирования и изготовления специальной станочной оснастки занимают достаточно длительное время и влекут за собой высокие материальные затраты и снижение производительности механической обработки. Так же данные типы приспособлений являются достаточно габаритными и имеют большие массовые показатели, что отрицательно влияет на работу станочного оборудования. В связи с узкой специализацией однопозиционных станочных приспособлений и необходимостью повышения производительности механической обработки целесообразно применение специальных станочных приспособлений для обработки большинства поверхностей детали за одно закрепление.

Рассмотрим перспективные способы фиксации лопаток турбины за проточную часть с целью высвобождения большинства обрабатываемых поверхностей хвостовика детали, для возможности обработки за одно закрепление. Для повышения производительности обработки и снижения количества рабочих станочных

приспособлений для обработки различных поверхностей, существует такой способ закрепления заготовок как брикетирование.

Сущность процесса брикетирования заключается в заливке пера лопатки специальным сплавом с температурой плавления 137 °С. В дальнейшем брикет используется как установочная база для последующей механической обработки. Общий вид детали в брикете приведен на рис. 3. На рис. 4 показана схема базирования при установке брикета в станочную оснастку.



Рис. 3. Общий вид лопатки в брикете

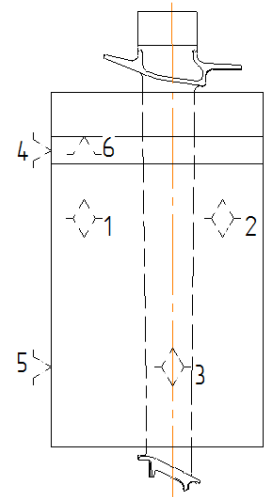


Рис. 4. Схема базирования лопатки при заливке в брикет

После заливки заготовка в брикете устанавливается в специальное станочное приспособление для выполнения последующей обработки замковой части лопатки методом глубинного.

Другим перспективным способом закрепления лопатки турбины при механической обработке является использование приспособления кассетного типа с базированием за проточную часть (рис. 5). Данные приспособления обеспечивают закрепление детали за поверхность профиля пера лопатки, обеспечивая возможность обработки большого числа поверхностей за одну установку заготовки без перебазирования.

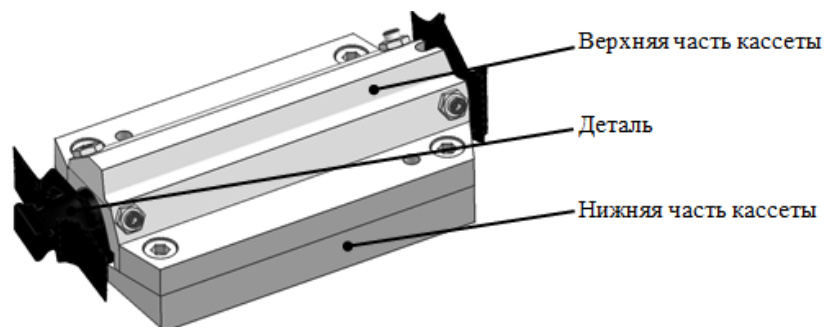


Рис. 5 – Приспособление кассетного типа

Приспособление кассетного типа является многоразовым (разборным) и позволяет выполнять закрепление деталей без дополнительных затрат на вспомогательные материалы (заливочную массу), как это предусмотрено при процессе

брикетирования. Схема базирования за проточную часть, при обработке в станочном приспособлении кассетного типа приведена на рис. 6.

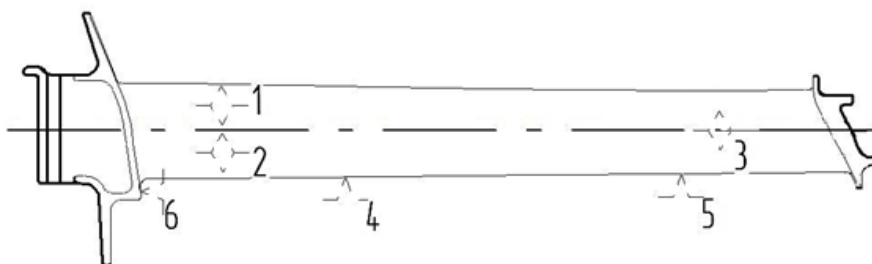


Рис. 6 – Базирование заготовки за проточную часть в приспособлении кассетного типа

Другим перспективным способом закрепления заготовок при механической обработке является метод приклейки с применением фотополимерного клеевого состава. Данный способ закрепления основан на фиксации клеевым материалом заготовок в упрощенных станочных приспособлениях, способным обеспечить неизменность положения заготовок в процессе обработки. В зависимости от геометрии обрабатываемой детали при фиксации заготовки клеевыми составами появляется возможность доступа к обрабатываемым поверхностям с 5 сторон (рис. 7).

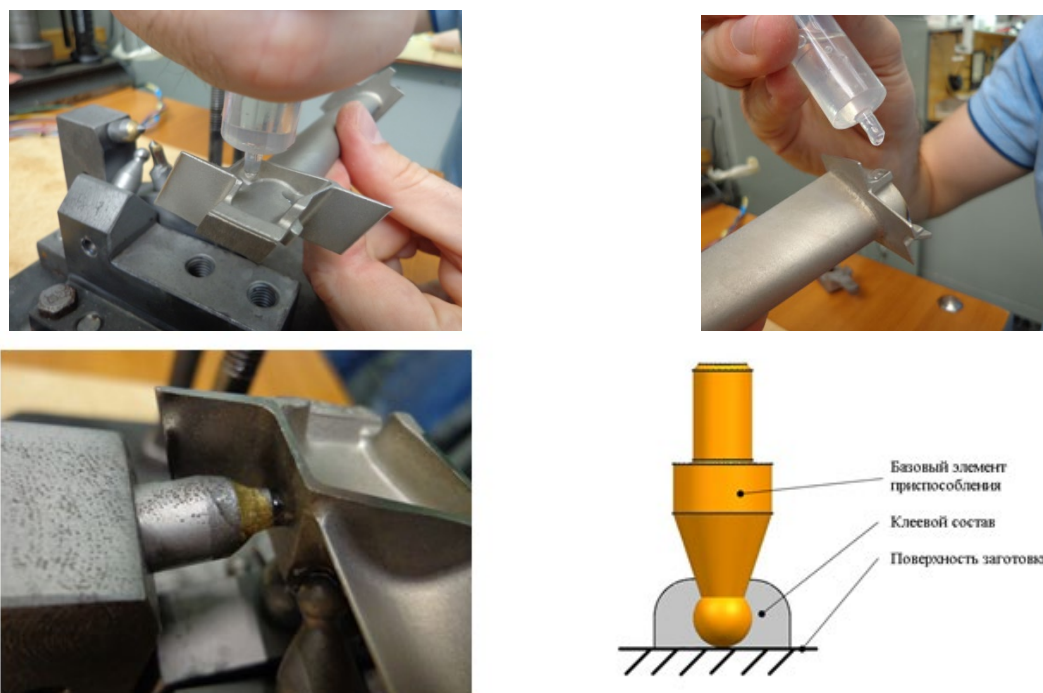


Рис. 7. – Закрепление детали типа лопатка турбины методом приклейки

Метод закрепления заготовок с использованием передовых клеевых составов, позволяет выполнить закрепление различных материалов, таких как: титан, жаропрочные сплавы на основе никеля, композитные материалы, алюминий. Фиксация заготовок после нанесения клеевого состава обеспечивается отверждением ультрафиолетовым светом.

Отклеивание происходит за счет размягчения клеевого состава горячим паром или горячей водой. Технология приклейки позволяет предотвратить возникновение деформаций и изгибающих моментов за счет применения точечного контакта склейки установочных элементов и поверхностей заготовки, в отличие от применения большого усилия зажимных элементов классических станочных приспособлений.

Анализируя существующие методы обработки лопаток турбин с применением однопозиционных станочных приспособлением, применение в производстве перспективных методов закрепления позволяет повысить производительность механической обработки одновременно снизить затраты на технологическую подготовку производства.

Список литературы: 1. Иноземцев А.А. Газотурбинные двигатели. – Пермь: Авиадвигатель, 2008. – 1204 с. 2. Полетаев В. А., Волков Д. И. Глубинное шлифование лопаток турбин: библиотека технолога. М: Машиностроение, 2009. 272 с. 3. Семенов А.Н. Научные проблемы теории базирования деталей при механической обработке и сборке. – Рыбинск: РГАТУ имени П.А. Соловьева, 2015.-72 с.

РАЗРАБОТКА СИСТЕМООБРАЗУЮЩИХ КОМПОНЕНТОВ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ НЕМАТЕРИАЛЬНЫХ АКТИВОВ В ВЫСОКОТЕХНОЛОГИЧНОМ БИЗНЕСЕ

Пиотух Д.С. (РГАТУ имени П.А. Соловьева, г. Рыбинск, Россия)
Тел: +7 910 826-30-93; E-mail: piotukh.den@bk.ru

Abstract: Explores the use of intangible assets in order to identify the fundamental components of the resources management system in high-tech business.

Keywords: intangible assets, high-tech business, privileges, public interest.

В настоящее время отсутствует нормативно-правовое определение термина «высокотехнологичный бизнес», однако очевидно, что основа его формируется на базе результатов интеллектуальной деятельности (РИД), формализованных на уровне нематериальных активов (НМА). В свою очередь НМА могут выступать в хозяйственном обороте как инструменты локализации, защиты и развития бизнесов по созданию наукоёмкой продукции. Вывод бизнеса на уровень высокотехнологичного требует системного подхода к управлению в сфере использования НМА, так как потенциал РИД должен исследоваться с точки зрения возможных негативных последствий от функционирования продукта на его основе.

Изделия высокотехнологичного бизнеса могут быть безопасными и максимально полезными и комфортными для потребителя, если этими проблемами озабочен разработчик вместе с изготовителем изделия. Воспроизводя и реализуя все новые идеи на уровне патентов и ноу-хау, они становятся участниками инновационного проекта, используя НМА как ресурс высокотехнологичного бизнеса (рис.1).

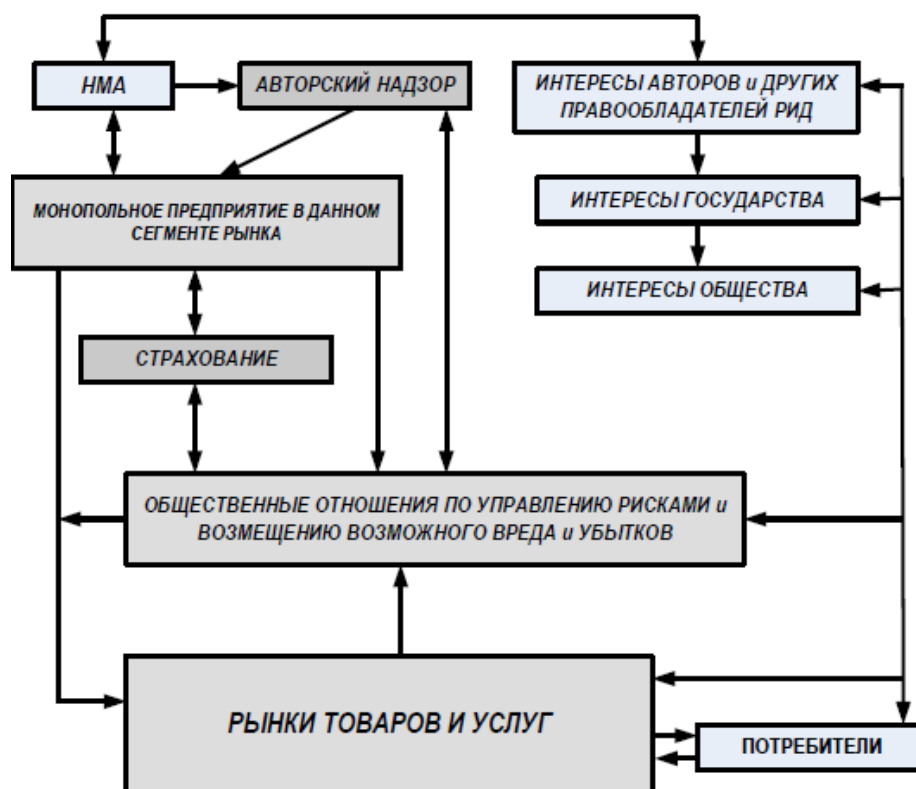


Рис.1. Метод использования НМА в высокотехнологичном бизнесе

Использование НМА в хозяйственной деятельности организации представляет собой процесс оперирования идеями, техническими решениями, информацией и символами в поле действия соответствующих интеллектуальных прав. Хозяйственная деятельность, основанная на санкционированном использовании НМА, может быть квалифицирована как легитимный бизнес, реализующий свои локальные монопольные преимущества.

В сфере научно-технической деятельности монопольные преимущества организации формируются на основе НМА, которые связаны с компетентностью персонала, человеческим капиталом, её статусом и деловой репутацией (НМА НТД). Репутация предприятия напрямую связана с качеством технических решений.

По мнению автора статьи, НМА НТД могут быть квалифицированы как интеллектуальные права в виде неимущественных прав на результаты интеллектуальной деятельности (РИД). В четвертой части ГК РФ данные права охарактеризованы как личные, неотделимые от субъекта. Спектр действия данных прав включает в себя констатацию авторства на РИД и защиту его целостности.

Формирование монопольного преимущества на основе НМА НТД связано с достижением высокого положения организации в профессиональной среде на основе:

- доступа к уникальной научно-технической информации;
- привлечения к научно-техническим разработкам наиболее компетентных специалистов в профильных областях знаний;
- обучения персонала на уровне передовых методик и системно выстроенного целеполагания;
- успешного участия в конкурсах, тендерах, а также в социально-ориентированных PR-мероприятиях;
- достижения организацией высокого статуса головной в стране, в отрасли или статуса центра компетенции по конкретной проблеме.

Жизненный цикл данной естественной монополии зависит от качества механизмов управления массивами собственной научно-технической информации, включая контроль её использования. В данной связи НМА НТД могут функционировать и развиваться на основе НМА, связанных с аккумуляцией и обработкой данных таких, как программы для ЭВМ и базы данных. Последние формируют область исключительности в сфере воспроизведения, распространения, переработки программных продуктов, а также для извлечения наиболее ценной информации для повторного использования их содержимого.

В сфере маркетинговой деятельности монопольные преимущества организации формируются на основе НМА, которые связаны со средствами индивидуализации (НМА МД). Маркетинг на внешнем для предприятия рынке связан, прежде всего, с товарными знаками и фирменными наименованиями. По своему содержанию НМА МД могут быть квалифицированы как интеллектуальные права в виде имущественных прав на обозначения, сопровождающие бизнес и его продукт. Спектр действия данных прав охватывает следующие процессы:

- продвижения и закрепления продукта на рынке;
- формирование узнаваемости продукта и его производителя на рынке;
- формирование договорных отношений с участниками рынка в вопросах добросовестной конкуренции.

Развитие НМА МД может осуществляться через формализацию на уровне НМА клиентских баз данных, аккумулирующих информацию о поставщиках и потребителях организации.

В сфере производственной деятельности монопольные преимущества разработчика и производителя могут формироваться на основе НМА, которые связаны с

объектами патентных прав (НМА ПД). По своему содержанию НМА ПД могут быть квалифицированы как интеллектуальные права в виде исключительных прав на:

- технические, дизайнерские и управленческие решения;
- приёмы, формирующие технологию;
- молекулярные соединения, используемые в производственной деятельности и её продукте.

Спектр действия данных прав распространяется на производственно-коммерческую деятельность организации в отношении товара на основе НМА ПД на протяжении всего его жизненного цикла.

Поддержание актуальности и развитие НМА ПД может происходить на основе формирования НМА, связанных с контрактными правами, обеспечивающими входные ресурсы бизнеса, внутрипроизводственные процессы и потребление их результата.

Организации в зависимости от своей профильной деятельности могут обладать НМА на уровне специфического или комплексного ресурса. По мнению автора статьи, метод использования данного ресурса должен учитывать общественные интересы, существующие по отношению к НМА и фактор риска высокотехнологичного бизнеса.

Функционирование бизнеса в сфере его монопольного преимущества должно соотноситься с публичными и частными интересами в отношении интеллектуальных прав, формирующих его рыночную позицию в конкретном сегменте рынка. Публичный интерес имеет общечеловеческий характер, он принадлежит обществу и реализуется сообща. Частный интерес индивидуализирован, он принадлежит конкретному лицу и зависит от реализации публичных интересов. Баланс публичного и частного интереса в отношении использования НМА может достигаться в сфере гарантии интеллектуальных прав личности, качества жизни граждан и защиты их от некачественной продукции [1]. Данные аспекты общественной жизни указывают, что рыночные позиции компании или другой организации тесно связаны с её ответственностью за его результаты, которая определена нормами Конституции РФ, Гражданского Кодекса РФ, законодательства РФ о техническом регулировании, а управление НМА, в данной связи, требует системного подхода. Понимание организацией своей ответственности в сфере функционирования высокотехнологичной продукции является системообразующей функцией, которая требует как разработки обеспечительных мер, так и оценочных процедур.

А.В. Птушенко определяет систему как «совокупность элементов, объединённых для достижения общих целей в цельную структуру прямыми и обратными связями, определяющими наличие свойств системы, выходящих за рамки простой суммы свойств составляющих её элементов» и вводит понятие «штрафной функции» системы, как «выраженной в деньгах платы за не решение побочных для системы задач и за возможные потери при использовании системы (в людях, ресурсах, экологии, престиже)» [2].

В этой связи, фактор «штрафной функции» (ФШФ) может быть позиционирован и оценён как компонент использования НМА, затрагивающий соответствующие частные и публичные интересы, а также влияющий на рыночные позиции компаний-производителей и прочих организаций.

Система использования НМА, направленная на обеспечение качества жизни граждан, включая авторов РИД, должна основываться на монопольном преимуществе носителя блага, т.е. привилегии. Б.Б. Леонтьев определяет «привилегию» в качестве фактора обеспечения безопасности, защиты, завоевания, распределения и перераспределения блага [1]. Принимая во внимание данное положение, можно определить ФШФ в качестве одного из основных компонентов системы использования НМА, исследование которого должно производиться в отношении материальных и нематериальных благ (рис.2).



Рис.2. Системообразующие компоненты использования НМА в высокотехнологичном бизнесе

В первом случае можно говорить об НМА, которые связаны с неимущественными правами авторов РИД и их компетентностью. По мнению автора статьи, ФШФ при функционировании данных НМА регулирует вероятность потери деловой репутации. В данном случае интерес автора РИД направлен на поддержание уровня своей компетентности в профессиональной среде, что требует соответствующих регулярных вложений:

- в получение, поддержание и повышение квалификации;
- в дополнительное обучение;
- для участия в семинарах, конференциях, разного рода PR-мероприятиях;
- для членства в саморегулируемых и иных организациях;
- для издания научных трудов, популярных публикаций.

ФШФ в отношении НМА, которые связаны с отделимым нематериальным благом, определяет необходимость осуществления контроля (надзора) за качеством (актуальностью) РИД на протяжении его жизненного цикла. В данном случае ФШФ будет соответствовать размеру необходимых затрат на осуществление контрольных мероприятий, включая резерв для устранения конструктивных и технологических дефектов.

По мнению автора статьи, ФШФ является одним из ключевых в выстраивании системы использования НМА, так как доход от высокотехнологического бизнеса должен рассматриваться, в том числе, как плата за тот риск, который присутствует в данной деятельности и требует управляющих воздействий.

Выводы

1. Роль НМА в высокотехнологичном бизнесе связана не только с возможностью формирования и развития монопольного положения организации на рынке, но и возможностью установления на основе оперирования интеллектуальными правами баланса интересов бизнеса и авторов идей, лежащих в его основе, а также его потребителей, общества, государства.

2. Понимание организацией своей ответственности в сфере функционирования высокотехнологичной продукции является системообразующей функцией, которая требует как разработки обеспечительных мер, так и оценочных процедур.

3. Успешность высокотехнологичного бизнеса заключена в эффективном использовании и развитии НМА с применением управляющих воздействий по взаимосвязке вытекающих из них полномочий и ответственности с существующими общественными интересами, что обуславливает получение дополнительной прибыли и рост деловой репутации организации.

Список литературы: 1. Леонтьев Б.Б., Леонтьева В.Б. Интеллектуальная природа. Системное мышление. Интеллектология. Идеология. - М.: Изд-во РИНФО, 2019. - 519 с. 2. Птушенко А.В. Правоведение для юристов. Общая теория права. Интеллектуальное право. Системный анализ в праве.-М.: Изд-во РИНФО, 2012.- 726 с.

РАСПРЕДЕЛЁННАЯ НЕЛИНЕЙНАЯ ДИНАМИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ТРУБОПРОВОДА С ЭЛЕКТРОПОДОГРЕВОМ

Плохов И.В., Козырева О.И., Савраев И.Е., Бандурин И.И. (ПсковГУ, г.
Псков, РФ, +7-900-990-42-33, E-mail: kafenerg@pskgu.ru)

***Abstract.** The article describes the development of a distributed dynamic model of the pipeline with a self-regulating electric heating system. The resulting mathematical model allows not only to explore the transition process on the system power consumption, but also to find the optimal combination of heated pipeline construction parameters (factors), ensuring a minimum consumption of electric power system of electric heating.*

Введение

При транспортировке нефти и нефтепродуктов по трубопроводам возникает проблема, связанная с охлаждением транспортируемой жидкости внешней средой. Охлаждение жидкости приводит к увеличению её вязкости, что влечет за собой увеличение гидравлических потерь и негативное влияние на работу насосных станций. Кроме того, понижение температуры может привести к отложению парафинов на стенках трубопроводов, которые удалять достаточно сложно. Поэтому широко применяются подогреватели различных типов [1-4]. Очевидные преимущества систем электрического подогрева (СЭП) перед аналогичными по назначению водяными и паровыми системами состоят в следующем: малая материалоемкость, простота монтажа, отсутствие коррозионных процессов, устойчивость к большим перепадам температур, возможность оснащения автоматизированными системами управления, которые точно и по заданному алгоритму поддерживают выбранный режим работы [5].

Гибкие полимерные трубы были разработаны в начале 80-х годов для борьбы с коррозией трубопроводного транспорта [6].

Одним из недостатков конструкций гибких полимерных трубопроводов (шлангокабелей) с электроподогревом является неравномерный нагрев транспортируемого продукта во внутритрубном пространстве и сложность регулирования процесса подогрева в случае нестационарных режимов [7].

Список значимых факторов переходного процесса электрической мощности, выделяемой СЭП и диапазоны их варьирования представлены в таблице 1. Выбор диапазонов изменения факторов основан на табличных значениях материалов, грунтов и сред, которые могут быть использованы при производстве и эксплуатации трубопроводов.

Для проверки влияния изменения величины каждого из факторов на целевую величину (потребляемую системой мощность) проведён вычислительный эксперимент, в котором каждый из факторов варьировался на нескольких уровнях (от 5 до 15). В качестве критерия значимости для факторов принят уровень влияния на целевую функцию, не превышающий 5%. Величину влияния оценивали по величине относительного отклика системы δ_Φ на варьирование отдельного фактора от среднего значения до верхнего (нижнего) в процентах по следующему выражению:

$$\delta_\Phi = \frac{P_k^i - P_k^j}{P_k^j} \cdot 100, \quad (1)$$

где P_k^i – величина мощности в i -м опыте в k -й момент времени; P_k^j – величина мощности в центральном опыте эксперимента в k -й момент времени.

Таблица 1 – Факторы и диапазоны их варьирования

№	Фактор	Диапазон варьирования фактора		Размерность
		нижний уровень	верхний уровень	
1	Теплоёмкость нефти	1.7	2.1	кДж/(кг·сек)
2	Плотность нефти	0.8	1	т/м ³
3	Теплоёмкость изоляции	1.5	2.4	кДж/(кг·сек)
4	Коэффициент теплопроводности изоляции	0.02	0.05	Вт/м ² ·сек
5	Плотность изоляции	40	100	кг/м ³
6	Теплоёмкость грунта	1.1	3.3	кДж/(кг·сек)
7	Коэффициент теплопроводности грунта	0.4	2.1	Вт/(м ² ·сек)
8	Плотность грунта	1.6	2.2	т/м ³
9	Температура окружающей среды	-50	50	°С
10	Коэффициент А	0	0.002	отн.ед
11	Коэффициент В	0.3	1	отн.ед
12	Радиус трубы внутренний	20	200	мм
14	Коэффициент теплопроводности нефти	0.1	0.2	Вт/(м ² ·сек)
15	Температура нефти	-50	50	°С
16	Объёмный расход нефти	30	250	м ³ /сутки
17	Температура трубы начальная	-50	50	°С

Из представленных выше факторов отклик системы выше 5% зафиксирован для 7 из 17 факторов (таблица 2):

Таблица 2 – Значимые факторы

№	Фактор	Диапазон варьирования фактора		Размерность	δФ, %
		нижний уровень	верхний уровень		
1	Температура окружающей среды	-60	20	°С	28,5
2	Коэффициент А	-0,6	-0,3	отн.ед	6,8
3	Коэффициент В	10	60	отн.ед	39,6

Продолжение таблицы 2

4	Радиус трубы внутренний	10	70	мм	25
5	Температура нефти	2	38	°С	18,7
6	Объёмный расход нефти	5	95	м ³ /сутк и	16,2
7	Длина трубы	50	250	м	41,8

Уровни варьирования коэффициентов А и В рассчитаны с использованием графиков изменения мощности нагрева P(T) саморегулируемых нагревательных кабелей (см. рисунок 1) [8].

Зависимость удельной мощности СЭП от температуры представим линейной функцией с коэффициентами А и В:

$$P(T) = A \cdot T + B. \quad (2)$$

По данным предварительных вычислительных экспериментов обнаружены нелинейности в зависимостях потребляемой мощности от некоторых факторов, а также обоснован экспоненциальный характер переходных процессов в СЭП.

В связи с этим динамическая модель потребляемой мощности:

$$P(C_0, C_1, C_2, t) = C_0 \cdot e^{(C_1 \cdot t)} + C_2, \quad (3)$$

при этом коэффициенты C_0, C_1, C_2 являются функциями вида

$$C_m(X_0, X_1, \dots, X_j, \dots, X_K), \quad (4)$$

где X_j – величина j-го фактора; $m = 0, 1, 2$ – номер коэффициента С; K – количество значимых факторов.

В качестве математической модели выберем неполную квадратичную регрессию

$$C_m(X_0 \dots X_K) = b_0^{C_m} + \sum_{j=1}^K b_j^{C_m} X_j + \sum_{j=1}^K b_{jj}^{C_m} X_j^2, \quad (5)$$

где $b_0^{C_m}, b_j^{C_m}, b_{jj}^{C_m}$ – вычисляемые коэффициенты математической модели.

В качестве плана эксперимента был выбран ортогональный центральный композиционный план (ОЦКП) [9]. Значения параметров ОЦКП: число факторов – $N=7$; дробность ДФЭ – $p=4$; число опытов ядра плана – $N_{\text{я}} = 2^{(N-p)} = 8$; число звёздных точек – $N_a = 2N = 14$; число опытов в центре плана – $N_0 = 1$; общее число опытов – $N = N_{\text{я}} + N_a + N_0 = 23$;

$$\text{звёздное плечо} - \alpha = \sqrt{2^{\frac{N-p}{2}-1} \left(\sqrt{N} - 2^{\frac{N-p}{2}} \right)} = 1,668.$$

Полученные при различных сочетаниях факторов переходные процессы экспоненциальны и аппроксимируются формулой (5). Аппроксимацию проводили по методу наименьших квадратов. Для этого минимизировали целевую функцию, представляющую собой сумму квадратов невязок экспериментальной экспоненты $(h^{(i)})_k$ и теоретической $C_0 \cdot e^{(C_1 \cdot t_k)} + C_2$ для каждого сочетания факторов плана:

$$Q(C_0, C_1, C_2) = \sum_{k=0}^{N_t} \left[C_0 \cdot e^{(C_1 \cdot t_k)} + C_2 - (h^{(i)})_k \right]^2 \rightarrow \min, \quad (6)$$

где $N_t = 100$ – количество контрольных точек в каждом из опытов; $(h^{(i)})_k$ – значение экспериментальной величины в k -й момент времени i -го опыта.

Точность подбора коэффициентов оценивали по относительной ошибке аппроксимации

$$\varepsilon = \frac{100}{N_r} \sum_{k=0}^{N_t} \frac{|C_0 \cdot e^{(C_1 \cdot t)} + C_2 - (h^{(i)})_k|}{(h^{(i)})_k}, \quad (7)$$

где N_r – количество опытов.

Проверка полученной математической модели на адекватность выявила, что высокая точность (меньше 5%) достигается в комбинациях факторов близких к представленным в ОЦКП, в противном случае относительная ошибка аппроксимации ε (7) может выходить за принятые пределы 15%.

С использованием ОЦКП дополнительно была получена аппроксимирующая функция вида

$$T_K = b_0^{T_k} + \sum_{i=1}^K b_i^{T_k} X_i + \sum_{i=1}^K b_{ii}^{T_k} X_i^2, \quad (8)$$

Относительная

где T_K – средняя температура нефти в конечном сечении трубопровода. ошибка аппроксимации ε (7) составила 3.27%.

Эвристический план

Для повышения точности аппроксимации был разработан новый ненасыщенный эвристический план, включающий парные взаимодействия между факторами. Целевая функция по времени имеет прежний вид (3). Для определения уровня влияния отдельных факторов на величины коэффициентов C_0, C_1, C_2 применены уравнения регрессии вида

$$C_m(X_1 \dots X_K) = b_0^{C_m} + \sum_{j=1}^K X_j \cdot b_{1,j}^{C_m} + \sum_{j=1}^K X_j^2 \cdot b_{2,j}^{C_m} + \sum_{j=1}^K X_j^3 \cdot b_{3,j}^{C_m} \quad (9)$$

где $m=0, 1, 2$ – номер коэффициента C ; j – номер фактора (1..7; $C_m(X_1 \dots X_K)$ – величина m -го коэффициента для сочетания факторов $(X_1 \dots X_K)$; N – количество факторов; $b_0^{C_m}, b_{1,j}^{C_m}, b_{2,j}^{C_m}, b_{3,j}^{C_m}$ – расчётные коэффициенты при факторах X первого, второго и третьего порядка, соответственно. После серии пробных вычислений C целью повышения точности уравнения регрессии были добавлены слагаемые, описывающие парные взаимодействия факторов:

$$C_m(X_1 \dots X_K) = b_0^{C_m} + \sum_{j=1}^K X_j \cdot b_{1,j}^{C_m} + \sum_{j=1}^K X_j^2 \cdot b_{2,j}^{C_m} + \sum_{j=1}^K X_j^3 \cdot b_{3,j}^{C_m} + \sum_{q \neq p}^K b_{q,p}^{C_m} \cdot X_q \cdot X_p, \quad (10)$$

$$P(C_0, C_1, C_2, t) = C_0 \cdot e^{(C_1 \cdot t)} + C_2, \quad (11)$$

где $b_{q,p}^{C_m}$ – коэффициенты при парных взаимодействиях факторов.

Энергия, потребляемая СЭП, определяется интегрированием (11) за период времени τ :

$$W_H = \int_0^{\tau} P(C_0, C_1, C_2, t) dt = \int_0^{\tau} C_0 \cdot e^{(C_1 \cdot t)} + C_2 dt = C_0 C_1 \cdot e^{(C_1 \cdot \tau)} + C_2 \tau. \quad (12)$$

С использованием построенной модели проведено исследование свойств трубопровода с саморегулируемой СЭП и разработана методика его оптимизации по критерию минимума энергопотребления с учётом переходных режимов.

Выводы

1. Разработана трёхмерная имитационная математическая модель трубопровода с саморегулируемой СЭП в грунте.
2. С применением теории планирования эксперимента построен ортогональный центральный композиционный план, вычислены постоянные коэффициенты регрессионной модели для переходного процесса по мощности, а также регрессионная модель для температуры в конечном сечении в установившемся режиме полимерного трубопровода с СЭП.
3. Разработана эвристическая гибридная математическая модель переходного процесса (экспоненциально-регрессионная), описывающая динамику саморегулируемого трубопровода с электроподогревом.

Список литературы: 1. Абрамкин, В.П., Применение нагревательных кабелей для обогрева промышленных резервуаров и трубопроводов / В.П. Абрамкин, Г.Ф. Быстрицкий // Промышленная энергетика. – 2007. – № 6. – С. 19-25. 2. Кологривов, М.М. Моделирование подогрева нефти циркуляционной водой из геотермальных скважин / Трубопроводный транспорт - 2015: материалы X Международной учебно-научно-практической конференции / авторы: М.М. Кологривов, А.Ю. Андерсон, редкол.: Р.Н. Бахтизин; и др. – Уфа: Изд-во УГНТУ, 2015. – 502 с. 3. Толепбергенов, Е.К. Повышение эффективности при транспортировке парафинистых нефтей на примере месторождений Узень и Карамандыбас / Е.К. Толепбергенов // Нефтепромысловое дело. – 2015. – № 2. – С. 44-50. 4. Трофименко, К.В. Разработка конструкции и оценка параметров эффективного индукционного подогревателя нефти и нефтепродуктов / К.В. Трофименко, Н.Д. Шишкин // Вестник Астраханского государственного технического университета. – 2012. – №1. – С.78-83. 5. Быков, И.Ю. Композиционно - волокнистые трубы в нефтегазовом комплексе / Под редакцией доктора технических наук, профессора И.Ю. Быкова - М: Изд. ЦентрЛитНефтеГаз. – 2008. – 271 с. 6. Реммаш-сервис [Электронный ресурс]: Гибкие трубы, режим доступа: <http://remmash63.ru/2.html> (дата обращения: 12.05.2014). 7. Саморегулируемый кабель для выкидных трубопроводов: патент на полезную модель RU 142154 U1, МПК H05B3/56 / Авторы: Плохов И.В., Павлов А.Б., патентообладатель: ООО НИП «Дельта-Т». – № 2013135209/07; заявл. 26.07.13, опубл. 26.06.2014. 8. Хренков, Н.Н. Расчет режимов остывания и разогрева трубопроводов с учетом замерзания и плавления / Н.Н. Хренков, Е.О. Дегтярева // Промышленный электрообогрев и электроотопление. – 2011. – №3. – С. 18-22. 9. Каменев, Б.Б. Основы научных исследований: методические указания к курсовой работе для студентов специальности 260203 / Б.Б. Каменев, В.Ф. Антонов. – СПб.: СПбГЛТА, 2004. – 67 с.

АНАЛИЗ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ НАПРЯЖЕННОСТИ НЕОДНОРОДНЫХ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ В ИЗОЛЯЦИОННЫХ МАТЕРИАЛАХ КАБЕЛЕЙ С ГЕТЕРОГЕННЫМИ ВКЛЮЧЕНИЯМИ

Полуянович Н.К., Дубяго М.Н. (ЮФУ, г. Таганрог, Россия)
Тел: 89508609983, E-mail: nik1-58@mail.ru

Abstract. The article is devoted to the study of the electromagnetic field (EMF) in the electrical insulating material of power cable lines (SCL). Modeling and analysis of the distribution of the electric field strength in the defect area for various types of inclusion filling was carried out and a pattern was established that can be a diagnostic parameter of the quality of the insulation of the SCL. An algorithmic solution for automatic parameter selection and NS training with subsequent forecasting has been synthesized, which makes it possible to increase the reliability of the CFS by reducing the time to create an optimal NS configuration.

Keywords: insulation materials, electromagnetic fields, reliability of power supply systems, neural network

Введение. В силовых кабелях (СК) в условиях воздействия электрического поля старение полиэтилена (ПЭ) определяется наличием неоднородностей, образованием низкомолекулярных продуктов (в том числе и воды) на технологической стадии изготовления при сшивке ПЭ изоляции и увлажнении в процессе эксплуатации [1]. Любая неоднородность приводит к локальному повышению напряженности поля и развитию дендритов, которые являются источником частичных разрядов в изоляции и приводят, в конечном итоге, к преждевременному пробою СК [2,3]. Вопросам построения моделей для расчета и анализа распределения напряженности неоднородных электрических полей в диэлектрической среде с включениями разной формы, взаимным расположением и с разными электрофизическими параметрами посвящен ряд работ [4]. Расчеты выполняются с использованием пакетов прикладных программ, реализующих метод конечных элементов [4]. В [5] на основе разработанной математической модели с применением пакета прикладных программ Cosmol Multiphysics получено распределение напряженности электрического поля в изоляции с гетерогенными включениями разных наполнений. Коаксиальная конструкция СК 6-35 кВ в одножильном исполнении имеет осевую симметрию и состоит из: токопроводящей жилы; трехслойной изоляции, включая полупроводящий экран по жиле, полимерную изоляцию, полупроводящий экран по изоляции; медного экрана; защитной полимерной оболочки, рис. 1.

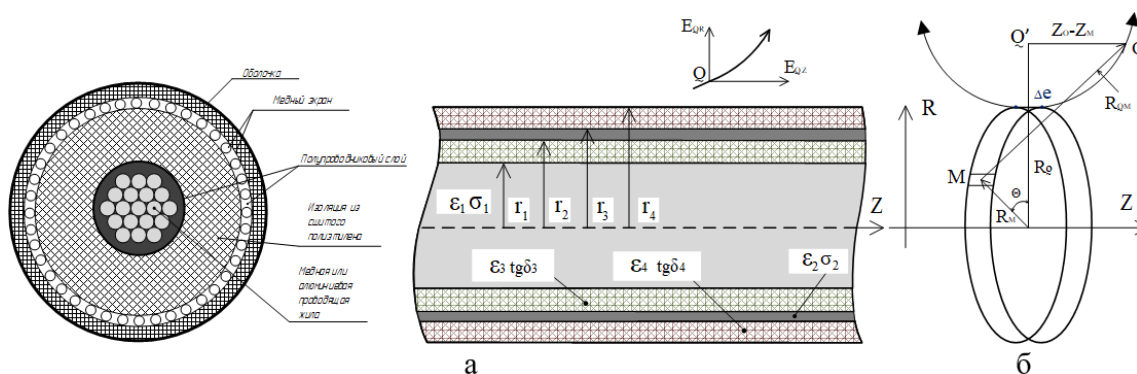


Рис.1 Падение ЭМ волны на экранированный кабель

В основе численного метода расчета напряженности поля лежат интегральные уравнения Фредгольма первого и второго рода для осесимметричного поля [5]. Для неизвестной плотности поверхностных зарядов $\sigma(M)$ осесимметричного тела при размещении точки Q на поверхности токопроводящей жилы, потенциал U которого задан, интегральное уравнение Фредгольма первого рода имеет вид:

$$\frac{1}{\pi\epsilon_0} \int \frac{K(k) * R_M * \sigma(M)}{\sqrt{(Z_Q - Z_M)^2 + (R_Q + R_M)^2}} * dL_M = U \quad (1)$$

где $K(k)$ – полный эллиптический интеграл первого рода; R_Q, R_M – радиус-векторы точек Q (где ищется потенциал) и M (где размещен кольцевой заряд; R_M – радиус кольцевого заряда); Z_Q – высота точки Q; Z_M – высота кольцевого заряда над осью радиусов R (рис. 1 [5]).

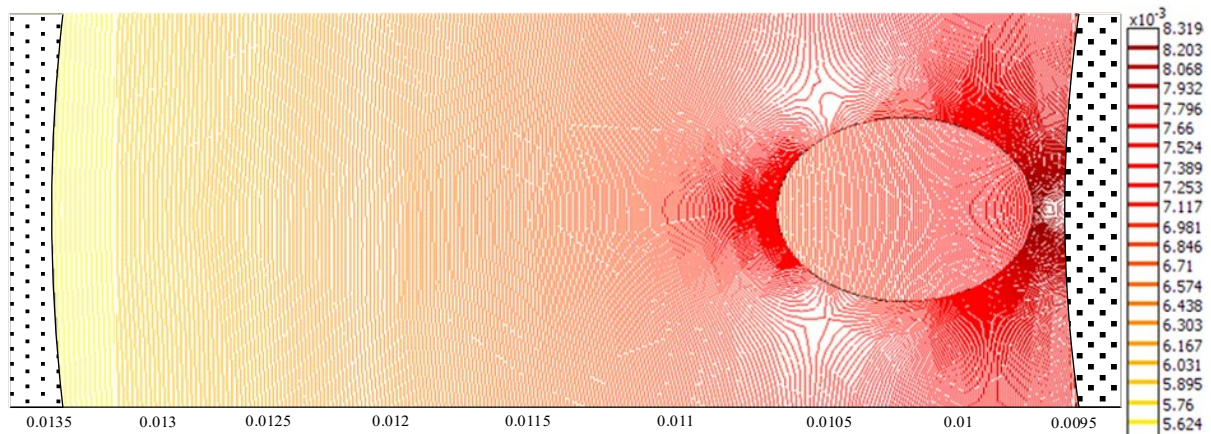
В матричной форме система линейных алгебраических уравнений:

$$\bar{A} * \bar{\sigma} = \bar{U} \quad (2)$$

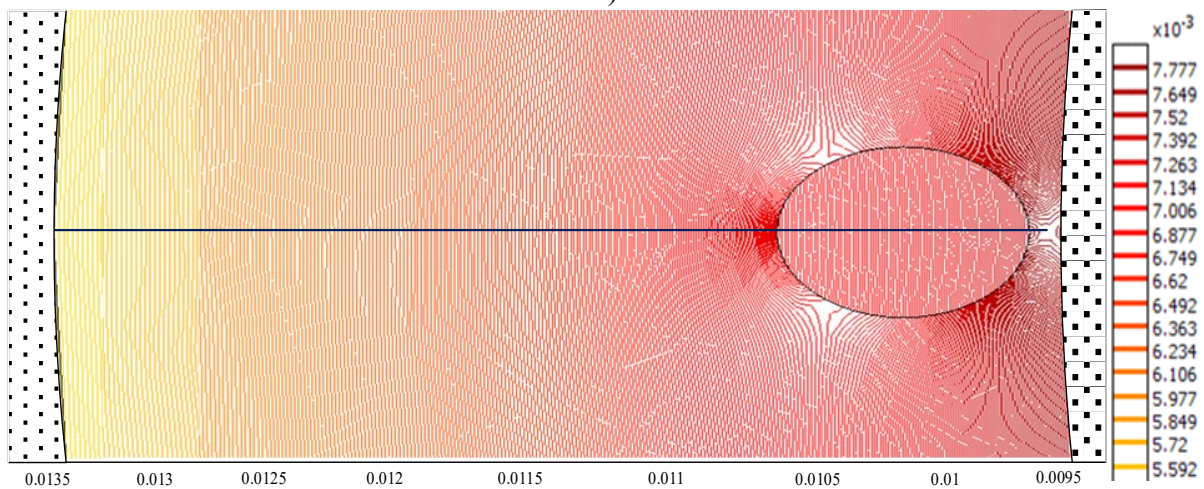
При наличии в изоляции неоднородностей на границах раздела изоляция – неоднородность будут наблюдаться скачки напряженности электрического поля $\epsilon_1/\epsilon_2, \epsilon_2/\epsilon_3$. Расчет поля в кусочно-однородной диэлектрической среде с относительными диэлектрическими проницаемостями ϵ_1 и ϵ_2 сводится к расчету поля в однородной среде с дополнительными вторичными источниками расположенными так, чтобы на границе раздела диэлектрических сред для нормальных составляющих, претерпевающих излом, выполнялось условие: $\epsilon_1 \cdot E_{1n} = \epsilon_2 \cdot E_{2n}$ [5]. Параметры исследуемого СПЭ-кабеля приведены ниже

Материал	Плотность, кг/м ³	Удельная электропроводность, См/м	ТКС	Относительная диэлектрическая проницаемость, д.е.	Удельная теплопроводность, Вт/(м·К)	Удельная теплоемкость, Дж/(кг·К)
Сшитый полиэтилен	920-960	$10^{-14} \div 10^{-15}$	–	2,2÷2,4	0,3÷0,4	2000
Полупроводящий слой	920-960	$10^{-4} \div 10^{-5}$	–	2,2÷2,4	0,3÷0,4	2000
ПВХ	1400	10^{-17}	–	3,2÷3,6	0,19	2140
Воздух	1,15	–	–	1	–	1006

Моделирование. Полиэтиленовая изоляция по своей морфологии является неоднородной, гетерогенной средой, т.к. содержит, прежде всего, аморфную и кристаллическую фазы, свойства которых отличаются. Требования к однородности изоляции для СКЛ достаточно высоки [4,5]. Размер допустимых примесей не должен превышать 200 и 100 мкм для кабелей класса напряжения 6-35 кВ. Площадь дефекта $R_{\text{деф}}$: $0,1 * 0,05$ до $0,55 * 0,45$ мм. Расстояние от жилы до центра дефекта $r=0,5; r=1; r=1,5; r=2; r=2,5$. Моделирование магнитного поля в изоляционном материале кабеля при заполнении дефекта различными включениями, рис.2



а)



б)

Рис. 2. Линии магнитного поля при моделировании в COMSOL: а–заполнение водой; б–заполнение СПЭ+Углерод. Удаление от жилы 0.5 мм. Размер дефекта 0.4x0.3 мм

На рис. 3 приведены зависимости изменение индукции $B(r)$ от площади включения, при его заполнении водой и углеродом плюс СПЭ.

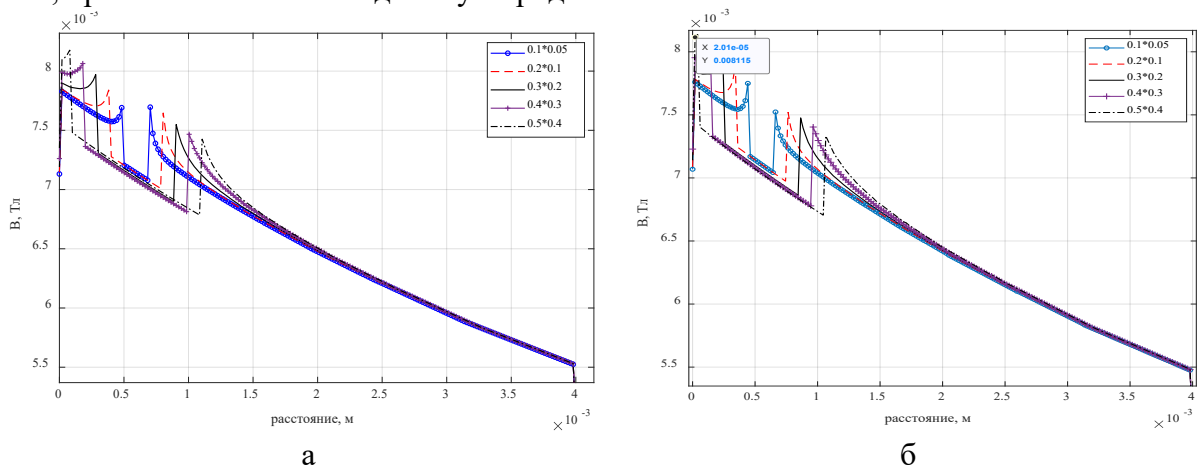


Рис. 3. а–заполнение включения – вода; б–заполнение включения С+СПЭ

Амплитуда скачков по индукции (B) и напряженности (H) с различными материалами заполнения дефекта, и размерах дефекта 0,1*0,05мм, приведена в таблице 1.

Табл.1 Амплитуда скачков по индукции (В)

Материал заполнения включения	Первый скачок		Второй скачок	
	Расстояние, м	Значение, Тл	Расстояние, м	Значение, Тл
Вода (H ₂ O)	0,0003819	0,007766	0,000603	0,007781
Воздух (N ₂ , O ₂)	0,0003819	0,007697	0,000603	0,007711
С+СПЭ (-CH ₂ -CH ₂) _n + С	0,0004824	0,007505	0,0007035	0,007424

На рис. 4 приведены зависимости изменение индукции В(м) от расстояния до дефекта, при различных материалах, заполняющих включения

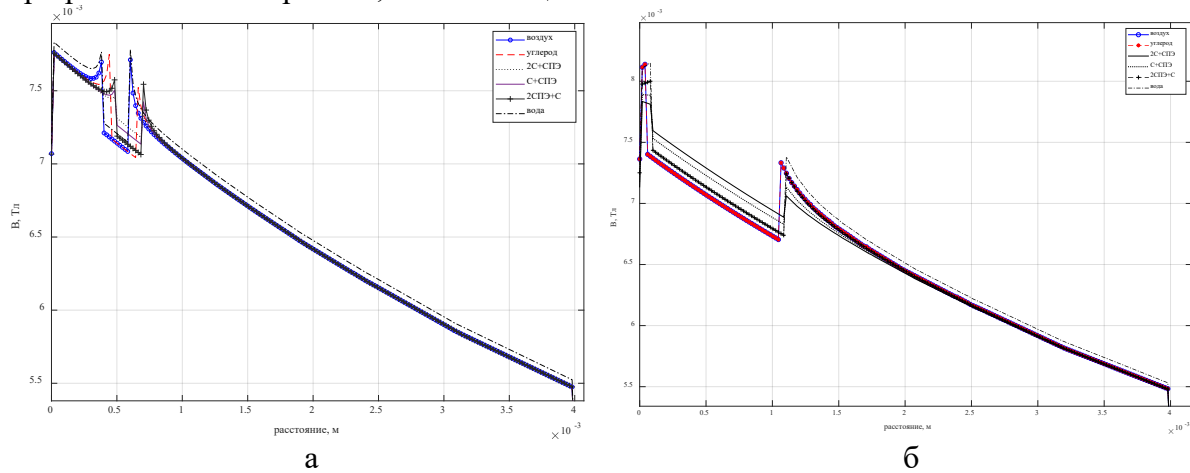


Рис. 4. а–размер включения 0.1*0.05 мм; б– размер включения 0.5*0.4 мм

Таким образом, получены модели проведен расчет и анализ распределения напряженности неоднородных электрических полей в диэлектрической среде с включениями с разными электрофизическими параметрами выполнено в программе Comsol.

Разработка нейрокомпьютерной системы. На рис. 5 приведен принцип использования нейросетевой модели в режиме идентификации. В качестве входных параметров выбраны: Указание наличия дефекта (X1), Координаты замеров (X2), Код материала (X3), Расстояние до дефекта (X4), Площадь дефекта(X5). Выходным параметром является индукция магнитного поля (Y1) и напряженность магнитного поля (Y2).

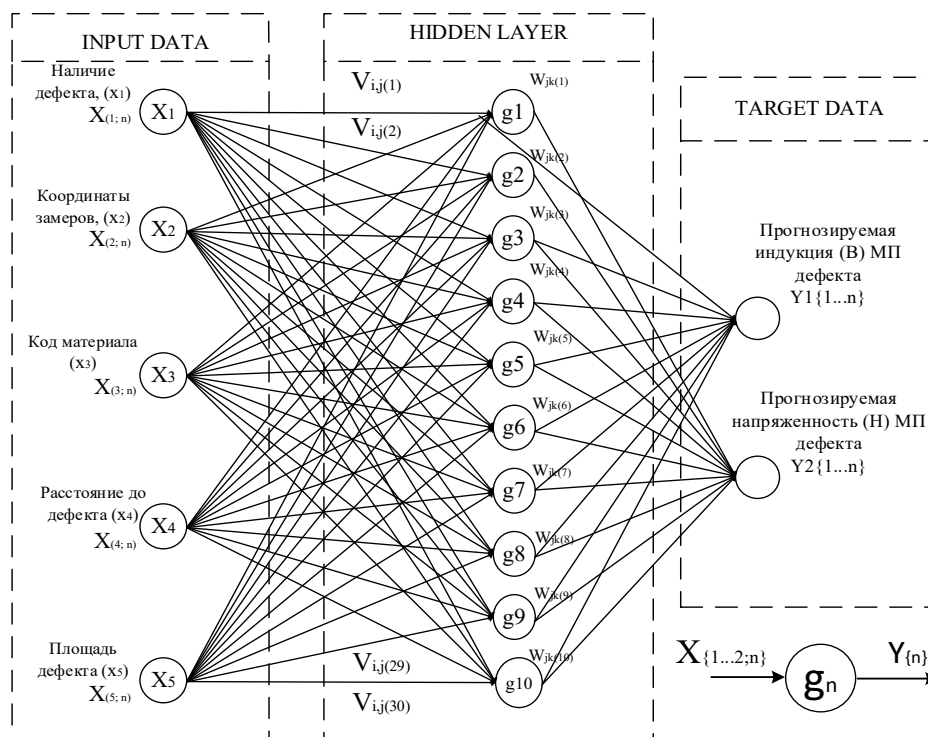


Рис. 5 Структура нейронной сети, применяемой для прогнозирования распределения ЭМП в основной изоляции СКЛ.

В этой схеме с помощью алгоритма обратного распространения должна минимизироваться ошибка между выходом объекта $y_1(t)$, $y_2(t)$ и входом. Полученная нейросетевая модель может быть эффективно использована для анализа распределения напряженности неоднородных электрических полей в диэлектрической среде с включениями разной площади и с разными электрофизическими параметрами.

Заключение. Исследовано магнитное поле одиночного образца кабеля марки АП-ВПу-10 1х240/70 при различных: расстояния неоднородности (включения) от жилы, при различном заполнении неоднородности. На основе проведенного моделирования с применением программы Comsol выполнен анализ ЭМП на границе раздела диэлектрических сред между сферическим микровключением и основной изоляцией. Установлено, что при наличии в изоляции неоднородностей на границах раздела изоляция – неоднородность будут наблюдаться всплески напряженности электрического поля $\varepsilon_1/\varepsilon_2$, $\varepsilon_2/\varepsilon_3$.

Список литературы: 1. Дубяго М.Н., Полуянович Н.К. Совершенствование методов диагностики и прогнозирования электроизоляционных материалов систем энергоснабжения. Монография / М. Н. Дубяго, Н. К. Полуянович; Южный федеральный университет. – Ростов-на-Дону; Таганрог: Издательство Южного федерального университета, 2019. – 192 с. 2. Дубяго М.Н., Полуянович Н.К. Метод селекции сигнала ЧР с помощью Вейвлет-преобразования. Известия ЮФУ. Технические науки. 2013. № 2 (139). С. 99-104. 3. Poluyanovich N.K. Dubyago M.N. Study of characteristics of partial discharge for assessment of condition of electrical insulating materials of power supply system. 2013 4th International Conference on Applied Mechanics and Mechanical Engineering (ICAMME 2013), October 11-12, 2013, Singapore, Applied Mechanics and Materials Vols. 459 Trans

Tech Publications, Switzerland (2014) pp 70-75. 4. Щерба А.А., Перетятко Ю.В. Моделирование неоднородных электрических полей в высоковольтной твердой полимерной изоляции с гетерогенными микровключениями// Вестник национального университета "Львовская политехника". – 2007. – №597. – С. 123-129. 5. А.В. Беспрозванных, А.Г. Кесаев. Вычислительные эксперименты для расчета напряженности осесимметричного электростатического поля в кусочно-однородной изоляции со сферическими включениями. Электротехника и электромеханика, 2014. №5. с.67-72.

РОТОРНЫЕ АВТОМАТЫ ПИТАНИЯ ПЛАНЕТАРНОГО ТИПА С ВИБРАЦИОННЫМИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫМИ ПРИВОДАМИ ЗАХВАТЫВАЮЩИХ ОРГАНОВ

Прейс В.В. (ТулГУ, г. Тула, Россия)

Тел. +7 (4872) 734493; E-mail: rabota-preys@yandex.ru

Abstract: Improved designs of rotor planetary-type power machines for automatic loading of flat axisymmetric parts into technological rotor machines for metalworking and assembly of various products of general and special engineering are considered. In contrast to the known designs in the considered rotor planetary-type power machines, instead of complex and bulky mechanical drives of movable capturing organs in the bottom of the hopper, the simplest vibrating electromagnetic drives (vibrators) with a central ring electromagnet are used.

Key words: technological rotor machine, automatic loading, rotor planetary-type power machine, vibrating electromagnetic drive, flat part.

Введение. Автоматическая загрузка штучных осесимметричных объемных деталей-тел вращения (классы 71-72 по классификатору ЕСКД) массой до 0,1 кг в технологические роторные машины для металлообработки и сборки различных изделий общего и специального машиностроения с производительностью от 300 до 1200 шт./мин осуществляется роторными системами автоматической загрузки (САЗ) [1, 2].

Для загрузка плоских деталей с отношением высоты (толщины) к внешнему диаметру детали меньше единицы применяют роторные САЗ, так называемого «планетарного типа», в которых захватывающие органы не связаны непосредственно с рабочими позициями роторной САЗ, поскольку накопительное устройство выполнено в виде общей кольцевой зоны [3]. В практике проектирования технологических систем роторных машин для изделий специального машиностроения подобные роторные САЗ получили название «роторные автоматы питания».

В качестве захватывающих органов в роторных автоматах питания планетарного типа используют профильные окна (для захвата и ориентирования плоских деталей типа колпачков) или кольцевую щель (для захвата сплошных плоских деталей), расположенные в донной части бункера роторного автомата питания. Детали, находящиеся в бункере, под действием центробежных сил инерции, возникающих вследствие транспортного вращения роторного автомата питания, и колебательных движений подвижных конструктивных элементов в донной части бункера, перемещаются к захватывающим органам, ориентируются и накапливаются в общей кольцевой зоне, из которой поступают на рабочие позиции роторного автомата питания.

Общими недостатками роторных автоматов питания являются: 1) сложность конструкции механических приводов, сообщающих колебательные движения подвижным конструктивным элементам в донной части бункера, выполненных на основе многозвенных планетарно-зубчатых передач; 2) возможность повреждения загружаемых деталей, вследствие их заклинивания в захватывающих органах или в общей кольцевой накопительной зоне.

С целью устранения указанных недостатков автором были разработаны усовершенствованные конструкции роторных автоматов питания для автоматической загрузки плоских осесимметричных деталей типа колпачков и сплошных плоских деталей, в которых вместо сложных и громоздких механических приводов, сообщающих колебательные движения подвижным конструктивным элементам в донной части бункера, использованы простейшие вибрационные электромагнитные приводы (вибраторы) с центральным кольцевым электромагнитом.

Роторный автомат питания планетарного типа для загрузки деталей типа колпачков. Роторный автомат питания (рис. 1) содержит бункер 5 для накопления «в навале» загружаемых деталей 4. В конической донной части 11 бункера выполнены фигурные отверстия 10 для ориентированного прохода деталей и установлен конический поддон 12, образующий вместе с конической донной частью бункера и цилиндрическим корпусом 2 кольцевую зону 13 для накопления ориентированных деталей [4].

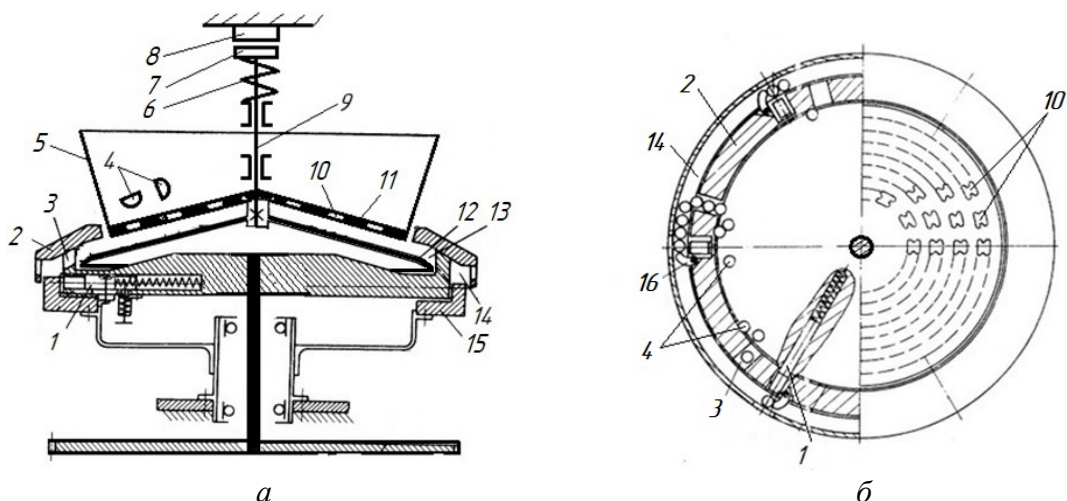


Рис. 1. Схема роторного автомата питания планетарного типа для автоматической загрузки деталей типа низких колпачков:

а – продольный разрез; б – вид сверху с частичным поперечным разрезом:

- 1 – выталкивающий ползун; 2 – корпус; 3 – радиальные пазы; 4 – загружаемая деталь;
- 5 – бункер; 6 – упругая подвеска; 7 – якорь; 8 – электромагнит; 9 – стержень;
- 10 – фигурное отверстие; 11 – коническая донная часть; 12 – конический поддон;
- 13 – общая накопительная зона; 14 – внешняя кольцевая зона; 15 – неподвижное кольцо; 16 – подпружиненная губка

Бункер и конический поддон закреплены на вертикальном стержне 9, смонтированном на упругой подвеске 6, и выполнены вибрирующими. Колебания (вибрация) бункеру и коническому поддону сообщаются, посредством электромагнитного вибрационного привода (вибратора), состоящего из электромагнита 8 с цилиндрическим сердечником, установленного на элементах станины технологической роторной машины, и плоского круглого якоря 7, смонтированного на вертикальном стержне 9.

Детали типа колпачков загружаются в бункер и, побуждаемые вибрацией бункера, проходят сквозь фигурные отверстия, выполненные в донной части бункера по форме внутренней поверхности колпачка, и попадают на конический поддон донным концом вниз (рис. 1, а). Под действием центробежных сил инерции, возникающих вследствие транспортного вращения роторного автомата питания, и вибрационных колебаний бункера с коническим поддоном детали перемещаются на периферию конического поддона, прижимаются к внутренней кольцевой поверхности цилиндрического корпуса и накапливаются в общей кольцевой зоне в один слой (рис. 1, б).

В цилиндрическом корпусе имеются сквозные радиальные пазы 3, через которые детали поступают на поверхность неподвижного кольца 15, образующего вместе с цилиндрическим корпусом внешнюю кольцевую зону 14 для накопления деталей. Поступившие на неподвижное кольцо детали удерживаются подпружиненными губками 16 против выталкивающих ползунов 1, которые осуществляют поштучную выдачу деталей из роторного автомата питания в захватные органы вращающегося транспортного

ротора (на рисунке не показан) технологической роторной машины в процессе их синхронного транспортного вращения.

Роторный автомат питания планетарного типа для загрузки сплошных плоских деталей. Роторный автомат питания (рис. 2) содержит цилиндрический бункер 5 для накопления «в навале» загружаемых деталей 4, установленный на цилиндрическом корпусе 2. В донной части бункера установлен конический поддон 10, образующий вместе с нижним торцом бункера кольцевую щель для ориентированного прохода деталей. Конический поддон образует вместе с цилиндрическим корпусом общую накопительную зону 13 для накопления ориентированных деталей [5].

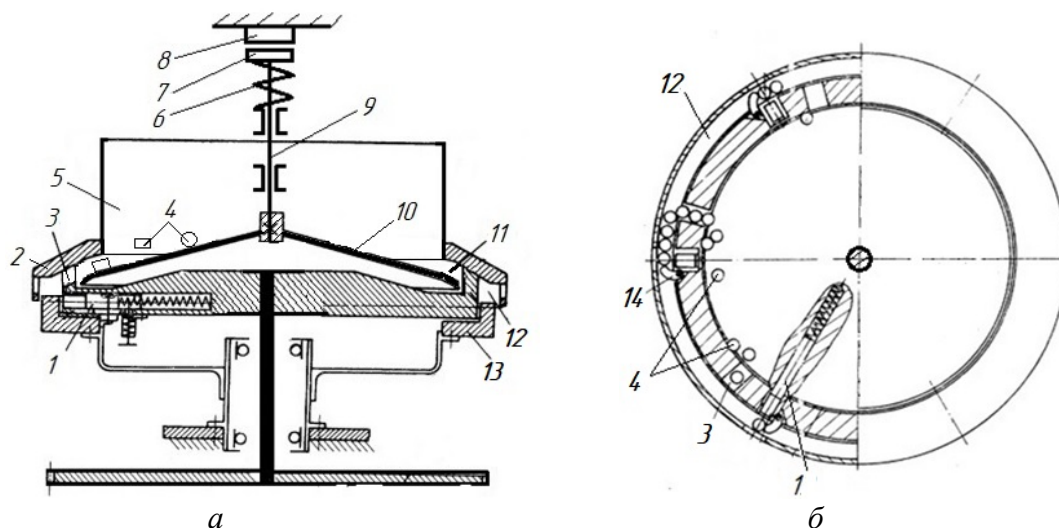


Рис. 2. Схема роторного автомата питания планетарного типа для автоматической загрузки сплошных плоских деталей:

- а – продольный разрез; б – вид сверху с частичным поперечным разрезом
 1 – выталкивающий ползун; 2 – корпус; 3 – радиальные пазы; 4 – загружаемая деталь;
 5 – бункер; 6 – упругая подвеска; 7 – якорь; 8 – электромагнит; 9 – стержень;
 10 – конический поддон; 11 – общая накопительная зона; 12 – внешняя кольцевая зона;
 13 – неподвижное кольцо; 14 – подпружиненная губка

Конический поддон закреплен на вертикальном стержне 9, смонтированном на упругой подвеске 6, и выполнен вибрирующими. Колебания (вибрация) коническому поддону, как и в рассмотренной выше конструкции роторного автомата питания, сообщаются посредством электромагнитного вибрационного привода (вибратора), состоящего из электромагнита 8 с цилиндрическим сердечником, установленного на элементах станины технологической роторной машины, и плоского круглого якоря 7, смонтированного на вертикальном стержне.

Плоские сплошные детали загружаются в бункер и, побуждаемые вибрацией конического поддона, проходят плоскими торцами сквозь кольцевую щель, образованную коническим поддоном и нижним торцом бункера, поскольку высота щели только на 10...20 % больше высоты загружаемой детали (рис. 1, а). Под действием центробежных сил инерции, возникающих вследствие транспортного вращения роторного автомата питания, и вибрационных колебаний конического поддона детали перемещаются на его периферию, прижимаются к внутренней кольцевой поверхности цилиндрического корпуса и накапливаются в общей кольцевой зоне в один слой (рис. 1, б).

Через сквозные радиальные пазы 3 в цилиндрическом корпусе детали поступают на поверхность неподвижного кольца 13, образующего вместе с цилиндрическим корпусом внешнюю кольцевую зону 12 для накопления деталей. Поступившие на непо-

движное кольцо детали удерживаются подпружиненными губками 14 против выталкивающих ползунов 1, которые осуществляют поштучную выдачу деталей из роторного автомата питания в захватные органы вращающегося транспортного ротора (на рисунке не показан) технологической роторной машины в процессе их синхронного транспортного вращения.

Упругие системы роторных автоматов питания планетарного типа с вибрационными приводами. Упругая система роторного автомата питания планетарного типа с вибрационным электромагнитным приводом состоит из следующих основных частей (рис. 3): вертикального стержня 1, упругой подвески 2, опор 3 упругой подвески, якоря 4 электромагнита и вибрирующих конструктивных элементов 5 роторного автомата питания (см. рис. 1, 2). Упругая подвески может быть выполнена в виде двух цилиндрических винтовых пружин сжатия (рис. 3, а) или двух пластинчатых пружин с заземленными концами (рис. 3, б).

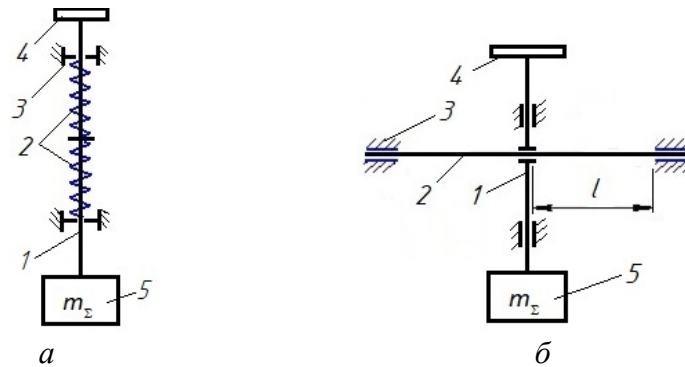


Рис. 3. Схемы упругих систем роторных автоматов питания планетарного типа с вибрационными приводами:

а – с двумя цилиндрическими винтовыми пружинами сжатия;

б – с двумя пластинчатыми пружинами с заземленными концами;

1 – вертикальный стержень (см. рис. 1, 2); 2 – упругая подвеска; 3 – опоры упругой подвески; 4 – якорь электромагнита (см. рис. 1, 2); 5 – вибрирующие конструктивные элементы роторного автомата питания

При разработке упругих систем роторных автоматов питания планетарного типа с вибрационными электромагнитными приводами (вибраторами), сообщающими вибрационные колебания конструктивным элементам роторных автоматов питания, обеспечивающим захват, ориентирование и подачу загружаемых деталей к рабочим позициям следует руководствоваться следующими положениями.

1. Для обеспечения устойчивой работы упругая система роторного автомата питания с вибрационным приводом должна быть настроена таким образом, чтобы частота собственных колебаний f_0 упругой системы была ниже частоты вынужденных колебаний $f_{вн}$, задаваемой вибрационным приводом, т.е. упругая система должна работать в дорезонансном режиме.

Тогда, выражения, связывающие параметры упругой системы роторов питания с частотой вынужденных колебаний, задаваемой электромагнитным приводом:

1.1. Для упругой системы с двумя цилиндрическими винтовыми пружинами сжатия (см. рис. 3, а)

$$\frac{d^2}{4\pi D} \sqrt{\frac{G}{m_{\Sigma} D n}} < f_{вн}, \quad (1)$$

где G – модуль сдвига материала пружин, Па; d – диаметр проволоки пружин, м; D – диаметр навивки пружин, м; n – число витков одной пружины; m_{Σ} – суммарная масса вибрирующих конструктивных элементов роторного автомата питания, в том числе, якоря электромагнита, и массы деталей, загружаемых в бункер, кг.

1.2. Для упругой системы с двумя пластинчатыми пружинами с защемленными концами (см. рис. 3, б)

$$\frac{h}{4\pi l} \sqrt{\frac{2Ebh}{m_{\Sigma}l}} < f_{\text{вн}}, \quad (2)$$

где E – модуль упругости материала пружины, Па; b – ширина плоской пружины, м; h – толщина плоской пружины, м; l – длина свободной части пружины, м.

2. Частота вынужденных колебаний упругой системы при питании электромагнита вибрационного привода от сети переменного тока промышленной частоты (50 гц) будет равна 100 гц. При введении в электрическую цепь питания электромагнита вентиля, включенного последовательно с обмоткой электромагнита (т.е. по однополупериодной схеме), частота вынужденных колебаний будет равна 50 гц. Регулируя величину тока в обмотке электромагнита можно изменять величину амплитуды колебаний (вибрации) упругой системы роторного автомата питания. Частота и амплитуда вынужденных колебаний подбираются в каждом конкретном случае экспериментально.

3. Расчет конструктивных параметров пружин конкретной упругой системы роторного автомата питания для заданной частоты вынужденных колебаний ведут по известным методикам [6, 7], используя полученные выражения (1) и (2).

Таким образом, сообщение вибрационных колебаний конструктивным элементам роторных автоматов питания, обеспечивающим захват, ориентирование и подачу загружаемых деталей к рабочим позициям, посредством вибрационных электромагнитных приводов (вибраторов) позволит значительно упростить конструкции приводов и практически устранить возможность заклинивания деталей в захватывающих органах или в общей кольцевой накопительной зоне роторных автоматов питания.

Список литературы: 1. Прейс В.В. Роторные системы автоматической загрузки штучных предметов обработки // Автоматизация и современные технологии, 2002, № 9. С. 3-8. 2. Прейс В.В. Системы автоматической загрузки штучных деталей в роторные и роторно-конвейерные линии // Вестник машиностроения. 2002. № 12. С. 16-19. 3. Комаров Г.В., Прейс В.В. Роторные системы автоматической загрузки // В книге: Автоматическая загрузка технологических машин: Справочник / Бляхеров И.С. [др.]. Под ред. И.А. Клусова. М: Машиностроение, 1990. С. 260-316. 4. Патент на полезную модель RU 216152 U1. Роторный автомат питания для поштучной выдачи деталей типа колпачков / Прейс В.В. Опубл. 18.01.2023. Бюл. № 2. 5. Патент на полезную модель RU 216099 U1. Роторный автомат питания для поштучной выдачи заготовок / Прейс В.В. Опубл. 17.01.2023. Бюл. № 2. 6. Автоматизация загрузки прессов штучными заготовками / В.Ф. Прейс, И.С. Бляхеров, В.В. Прейс, Н.А. Усенко; Под общ. ред. В.Ф. Преяса. М.: Машиностроение, 1975. 280 с. 7. Автоматическая загрузка технологических машин: Справочник / И.С. Бляхеров [и др.]; Под общ. ред. И.А. Клусова. М.: Машиностроение, 1990. 400 с.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИНТЕРАКТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В ТЕХНИЧЕСКОМ ОБУЧЕНИИ: ПРЕИМУЩЕСТВА И НЕДОСТАТКИ

Приходченко Е.И., Павлюк Е.Н. (ДонНТУ, г. Донецк, ДНР, Россия)

Аннотация. В статье рассматриваются интерактивные методы обучения, которые могут быть внедрены в процесс обучения студентов, изучающих технические дисциплины.

Ключевые слова: интерактивные технологии, дистанционное обучение, положительная результативность, программное обеспечение, методы обучения

1. Введение.

Образовательный процесс для студентов технических специальностей сегодня должен состоять не только из лекций, домашних и практических работ. Современные студенты — новое поколение, которое встретится с глобальной конкуренцией в сфере труда и новыми жизненными вызовами. Недостаточно просто наполнять обучаемых знаниями, нужно заинтересовать, мотивировать к учебе, показать, как полученные знания могут найти практическое применение в жизни, решить профессиональные задачи.

Для вовлеченности студентов в обучение, формирования у них необходимых компетенций и практических навыков в области разработки программного обеспечения, понимания их будущей профессиональной деятельности, мотивации в учебе необходимы не только компетентность преподавателя, но и применение интерактивных технологий и других педагогических методов. Это позволит больше увлечь студентов в активную интеллектуальную и познавательную деятельность, улучшить результаты учебы и получить практически применимые навыки, повысить качество подготовки и конкурентоспособность выпускников на рынке труда.

2. Основная часть.

Педагогическая технология — это совокупность психолого-педагогических установок, которые определяют специальный набор и компоновку форм, методов, способов, приемов обучения и воспитательных средств. Это организационно-методический инструментарий педагогического процесса. В более широком понимании это системный метод создания, применения и определения всего процесса преподавания и усвоения знаний с учетом технических и человеческих ресурсов и их взаимодействия, ставящий своей задачей оптимизацию форм образования.

Бесспорно, интерактивные технологии произвели революцию в том, как учебные заведения доносят до студентов лекции и учебные материалы. С их появлением возникла возможность дополнить традиционное обучение в классе расширенным учебным опытом. Такая интерактивность может оживить техническое образование, вовлекая студентов в увлекательные и захватывающие занятия, способствующие более глубокому пониманию предмета. Однако наряду с этими потенциальными преимуществами существуют и определенные проблемы, которые следует учитывать перед внедрением интерактивных технологий в техническое образование.

Задачи, которые помогают решить интерактивные педагогические технологии:

- облегчение восприятия учебного материала;
- более глубокое усвоение знаний;
- возможность взглянуть на учебный процесс шире, развить навыки пространственного мышления;

– понимание, как полученные знания могут применять на практике для решения поставленных задач [1].

Интерактивные технологии дают преподавателям возможность сделать занятия более интересными для студентов, предлагая им внутренние стимулы к обучению с помощью виртуальных занятий и симуляций реальных ситуаций, которые побуждают их детально изучать представленный материал. Эти стратегии могут сделать лекции более увлекательными, так как студенты вдохновляются на участие в процессе обучения, применяя свои знания и исследуя многочисленные аспекты темы с разных точек зрения. Это может привести к более высокому уровню вовлеченности учащихся, развитию критического мышления, и способствовать более глубокому пониманию, а также развитию творческих способностей и умения решать проблемы в различных областях.

Традиционное прямое обучение строится на объяснении преподавателем материала, формулировки целей предмета, деления информации на фрагменты и закрепление полученных знаний путем повторения и практического применения знаний. Такое обучение, дополненное практическими заданиями, открытым дискуссиями и беседами со студентами позволяет вовлечь учащихся в материал, лучше понять содержимое курса. Несмотря на эти потенциальные преимущества, существуют определенные недостатки, которые необходимо решить для успешной интеграции интерактивных технологий в курсы технического образования. Прежде всего, это касается самих преподавателей, которым может не хватать опыта или уверенности, когда дело доходит до эффективного использования интерактивных технологий на своих занятиях — особенно в отношении изучения сложных тем, таких как математика или компьютерное программирование, где интерактивные технологии оказались особенно полезными для повышения успеваемости и понимания [4].

Лекции, уроки-беседы, практикумы, семинары — все это примеры педагогических технологий. Задача каждого преподавателя расширять свой арсенал педагогических приемов и техник. Для студентов технических ВУЗов и особенно для тех, кто связан с программированием, есть разные дополнительные форматы интерактивных технологий в обучении.

Современные технологии информационно-коммуникационных систем позволяют создавать электронные образовательные ресурсы, которые активно используются в образовательном процессе. Электронное обучение – это обучение, которое происходит в виртуальном пространстве, опираясь на современные ИТ-технологии. Информационные технологии развиваются очень быстро, поэтому электронное обучение постоянно совершенствуется и улучшается. С помощью онлайн-курсов и видео-занятий студент может изучать новые знания и навыки в любое время и в любом месте, где есть доступ к интернету. С педагогической точки зрения электронное обучение позволяет индивидуализировать образовательный процесс, учитывая индивидуальные потребности каждого студента. Это обеспечивает более эффективное обучение и повышает мотивацию студентов.

Обучение основам программирования основывается на коллективной работе студентов, развивая их коммуникационные и социальные навыки, улучшая их критическое мышление и творческий потенциал. Для успешного изучения программирования важным является осознание студентами своей роли в процессе обучения и определение целей, которые они должны достичь.

Педагогический подход к предметам программирования должен основываться на принципах активного обучения, практической ориентации и индивидуализации обучения. Активное обучение представляет собой подход, в котором студенты взаимодействуют со своими педагогами и сокурсниками, чтобы обмениваться идеями и

знаниями, а также рассматривать конкретные жизненные ситуации, связанные с проектированием и разработкой программных систем. Практическая ориентация подразумевает концентрацию на выполнении заданий и проектов, которые наиболее соответствуют требованиям реального мира. Она также включает использование современного оборудования и технологий, чтобы обеспечить студентам оптимальные условия для изучения и практической работы [3]. Индивидуализация обучения, наконец, включает понимание того, что каждый студент имеет свой уникальный путь к обучению и может нуждаться в различных уровнях инструкций и поддержки. Для реализации индивидуализации обучения необходимо использовать подходы, которые могут быть определены для каждого студента, чтобы помочь ему эффективно и быстро достичь своих целей.

3. Выводы.

Новые интерактивные технологии уже активно внедряются в современные процессы обучения. В будущем они все больше будут вытеснять традиционный лекционный формат, и прежде всего в технических ВУЗах. Мотивация, прочность знаний, умение найти нестандартные решения, развитие коммуникативных навыков, активной жизненной позиции, умение работать в команде, формирование круга единомышленников — все это лишь краткий перечень преимуществ интерактивных методик в обучении. С таким подходом к обучению, программирование станет более востребованным среди абитуриентов, а преподавателям будет легче заинтересовать студентов, проявить свои творческие навыки и получить удовольствие от работы с учениками.

Список литературы: 1. Приходченко, Е. И. Формирование компетенций у будущих педагогов в эпоху цифрового образования / Е. И. Приходченко, Е. А. Маркова // Шамовские педагогические чтения: сб. ст. XIV Международ. науч.-практ. конф., г. Москва, 22–25 янв. 2022 г. – Москва, 2022. – Ч. 2. – С. 305–310. 2. Приходченко, Е. И. Управление подготовкой будущих специалистов в техническом вузе / Е. И. Приходченко, Е. А. Маркова // Инженер настоящего и будущего: практика и перспективы развития партнерства в высшем техническом образовании: материалы XVII Междунар. науч.-практ. конф., г. Таганрог, 6–7 июня 2022 г. – Ростов-на-Дону; Таганрог, 2022. – С. 38–42. 3. Приходченко Е.И., Шевченко Е.Б., Бойко Н.И. Использование инновационных технологий в формировании профессиональной культуры будущих специалистов» - статья на портале Саратовский государственный университет. Доступно по ссылке: https://www.sgu.ru/sites/default/files/conf/files/2022-03/prihodchenko_shevchenko_boyko_osm_2022_02.03.2022.pdf. 4. Попков, В. А. Теория и практика высшего образования / В. А. Попков, А. В. Коржув. - М.: МГУ, 2005. - 475 с.

ИНТЕРАКТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРИ ОБУЧЕНИИ ТЕХНИЧЕСКИМ СПЕЦИАЛЬНОСТЯМ

Приходченко Е.И., Турулина Ю.О. (ДонНТУ, г. Донецк, ДНР)

Аннотация. В статье рассмотрены интерактивные технологии обучения, которые необходимы для обучения техническим специальностям.

Ключевые слова: интерактивное обучение, деловые игры, дистанционное обучение, эксперимент, игра

1. Введение.

Сегодня компетентность преподавателя в преподаваемой дисциплине является необходимым, но не достаточным условием для эффективного усвоения этой дисциплины студентами. Для современного преподавателя важно уметь мотивировать студентов в процессе обучения и составлять для них учебные программы с учетом их личностных особенностей и специфики будущей профессиональной деятельности.

Сегодняшняя ориентация образования на формирование компетенций означает создание ряда условий, позволяющих студентам проявить не только свою интеллектуальную и познавательную деятельность, но и личный социальный статус и индивидуальность.

2. Основное содержание работы.

Чтобы облегчить понимание учебной информации и способствовать более глубокому усвоению знаний, можно использовать современные образовательные технологии, позволяющие «взглянуть на учебный объект со всех сторон».

Одним из основных принципов подготовки инженеров является развитие уже на начальном этапе обучения необходимых навыков пространственного мышления. Данное мышление – это вид интеллектуальной деятельности, позволяющий создавать трехмерные образы и действовать на их основе в процессе решения любой задачи [1].

Если в процессе обучения, особенно на начальных этапах, обучающемуся очень трудно визуализировать учебный объект в целом, то процесс обучения становится менее эффективным для обучающегося, а также вызывает ряд последствий:

- снижение либо потерю интереса к учебному объекту;
- снижение способности концентрироваться на важном содержании;
- снижение объема долговременной памяти.

Для технических вузов эти проблемы требуют особого внимания, так как они оказывают существенное влияние на подготовку будущих специалистов, а их решение способствует лучшему усвоению образовательной программы.

Интерактивные технологии – это ряд образовательных методик, которые позволяют добиться необходимых образовательных эффектов путем вовлечения студентов в совместную с преподавателем деятельность по заданным правилам и условиям [2].

Интерактивные технологии обучения оказывают существенное влияние на успешное обучение современных студентов. До недавнего времени их применение в образовательном процессе специально регламентировалось Федеральными государственными образовательными стандартами высшего профессионального образования. Сегодня использование интерактивных форм обучения является одним из инструментов, которые эффективно обеспечивают студентов учебной информацией, активизируют учебно-познавательную деятельность и мотивируют обучение. При этом интерактивные технологии используются как в учебном процессе по отдельным дисциплинам, так и во время государственных выпускных экзаменов [3].

В отличие от традиционных форм обучения, где информация поступает в одном направлении от преподавателя к студенту – слушать, запоминать и воспроизводить, а обучающийся выступает лишь в роли пассивного слушателя, интерактивные презентации побуждают их активно участвовать в процессе обучения.

Вовлечение студентов в процесс обучения одновременно с передачей важной информации является одним из наиболее эффективных интерактивных методов обучения и, как показала практика, повышает вероятность изучения вопросов, которые им предлагается сначала обдумать и обсудить.

Интерактивное обучение дает обучающимся не только знания, но и способность и необходимость применять эти знания для анализа, оценки и принятия решений. В этом случае интерактивные методы (что особенно важно) направлены на более широкое взаимодействие между обучающимися и преподавателями, а также между студентами. С помощью интерактивных методов учителя разрабатывают формы организации познавательной деятельности на уроке и создают психолого-педагогические условия, при которых взаимодействуют абсолютно все участники познавательного процесса.

К сожалению, следует признать, что в отечественных учебных заведениях (в отличие от европейской модели образовательного процесса) он часто строится на активной работе педагога и пассивной работе обучающегося.

Интерактивные методы способствуют качественному усвоению нового материала. К ним относятся:

- творческие письменные задания;
- работа в малых группах;
- обучающие игры (ролевые игры, симуляции, деловые игры);
- использование местных ресурсов (приглашение экспертов, экскурсии);
- социальные проекты и другие внеклассные методы обучения (конкурсы, интервью, фильмы, спектакли, выставки);
- изучение и закрепление нового материала (интерактивные лекции, наглядный материал, связь с видео- и аудиоматериалами, «ученик-учитель», «каждый учит каждого», использование вопросов);
- тестирование;
- разминочные упражнения, обратная связь;
- дистанционное обучение, обсуждение сложных и противоречивых вопросов и проблем (занятие позиции, шкала мнений, формула РОРР);
- решение проблем («деревья решений», «мозговой штурм», «анализ несчастных случаев», «лестницы и змейки») [4].

Конечно, возможна и комбинация вышеперечисленных форм. Очень хорошо дополняют друг друга работа в малых группах с учебными дискуссиями и метод проектов, при котором одно задание дается не по одному, а нескольким студентам. Анализ результатов занятий с использованием вышеперечисленных методик обучения показывает заметное повышение интереса обучаемых к предмету.

Трудности преподавателей в применении интерактивных методов в образовательном процессе проявляются как:

- незнание содержания методов;
- неумение применять метод на практике;
- непонимание места метода в организации занятия;
- недоверие к эффективности метода в учебном процессе.

Компетентностный подход к организации учебного процесса требует от педагога изменения учебного процесса. Это означает, что в работе учителя приоритет отдается диалоговым методам общения, совместному поиску истины и разнообразным видам

творческой деятельности. Все это достигается за счет применения интерактивных методов обучения.

Предпосылками для интерактивного обучения являются следующие условия:

- хорошие и доверительные отношения между преподавателем и обучающимся;
- демократический стиль;
- сотрудничество в процессе общения;
- опора на личный («педагогический») опыт обучаемого, включение в процесс обучения ярких примеров, фактов и образов;
- формы и методы подачи информации, способы деятельности студентов, разнообразие движений;
- включая внешнюю и внутреннюю мотивацию деятельности и взаимную мотивацию учащихся [2].

Интерактивные формы обучения гарантируют высокую мотивацию, прочность знаний, творчество и воображение, коммуникативные навыки, активную жизненную позицию, командный дух, ценность индивидуальности, свободу самовыражения, акцент на активность, взаимное уважение и демократичность. Они имеют больше преимуществ, чем недостатков. Однако нельзя не упомянуть и о недостатках этого типа обучения. Во-первых, организация этого типа обучения требует больше времени и усилий. Недостаточно отобрать необходимую информацию и изложить ее в форме лекции. Необходимо продумать сценарии диалога, вопросы к участникам и способы их мотивации.

В оффлайн-интерактивных программах обучения количество участников ограничено. Количество слушателей должно быть ограничено так, чтобы каждый мог отвечать на вопросы, участвовать в играх и дискуссиях. Если для обучения используются интерактивные онлайн-курсы, количество обучаемых может быть таким же большим, как и количество участников.

Кроме того, интерактивные методы обучения могут подходить не всем. Некоторые сотрудники могут чувствовать себя неловко во время деловых игр или при ответах на тестовые вопросы. Как правило, эти люди - новички в коллективе.

3. Выводы.

Таким образом, применение интерактивных технологий в образовательном процессе является неотъемлемой частью современного обучения. Интерактивные технологии способствуют более эффективному формированию компетенций студентов. Ее внедрение в образовательный процесс может значительно повысить его общую эффективность, при этом преподаватели вносят лишь простые изменения в структуру и содержание своих занятий.

Интерактивное обучение учитывает потребности обучаемых, включает их личный опыт, целенаправленно модифицирует знания и достигает оптимальных результатов благодаря сотрудничеству, совместному творчеству, независимости и свободе выбора.

Список литературы: 1. Бурняшева, Л.А. Активные и интерактивные методы обучения в образовательном процессе высшей школы. Методическое пособие / Л.А. Бурняшева. – Москва: КноРус, 2016. – 991 с. 2. Кашлев, С. С. Интерактивные методы обучения / С.С. Кашлев. – Москва: ТетраСистемс, 2013. – 224 с. 3. Генике, Е.А. Активные методы обучения. Новый подход / Е.А. Генике. – Москва: Национальный книжный центр, 2015. – 308 с. 4. Диндяев, С. Интерактивное обучение студентов с помощью компьютерных средств / С. Диндяев. – Москва: LAP Lambert Academic Publishing, 2014. – 84 с.

ВЫБОР ГИБКИХ МУФТ ФИРМЫ RENK ДЛЯ СНИЖЕНИЯ ВИБРАЦИЙ МЕХАНИЗМОВ НА МОРСКИХ СУДАХ

Рак А.Н., Игнаткина Е.Л., Молчан А.А. (КамчатГТУ, г. Петропавловск-
Камчатский, Россия)

Тел./Факс +79770165539; E-mail: lion15ua@rambler.ru

Abstract: During the operation of various ship mechanisms, various violations in their design may occur, for example, the development of bearing surfaces, as well as deformation of the support surfaces on which the mechanisms and equipment are located. Naturally, in this case, various vibration vibrations may occur, which in the future may cause failure of both the individual device and the mechanism as a whole, if appropriate measures are not taken. The article presents a methodology for selecting flexible couplings from RENK, taking into account many years of experience in their operation as applied to marine vessels.

Key words: motor vessel ship, shaft, bearing, rotating, vibration, flexible couplings

В процессе эксплуатации различных механизмов с вращательным движением на морских судах происходит износ подшипниковых узлов, деформации поверхностей на которых установлено оборудование. При этом, возникают различные вибрации, которые регламентируются в соответствующих нормативно-технических документах. Они предназначены для оценки допустимости фактических уровней вибрации механизмов и оборудования судов при постройке или после ремонта, а также судов, находящихся в эксплуатации по результатам измерений параметров их вибрации. В соответствии с таким подходом различают три категории технического состояния механизмов и оборудования судов: А – состояние механизмов и оборудования после постройки судна или ремонта при вводе в эксплуатацию; В – состояние механизмов и оборудования во время нормальной эксплуатации; С – состояние механизмов и оборудования, при котором оно требует проведения технического обслуживания или ремонта. Нормы, которые определяют верхние границы категорий А и В представлены в [1].

Устройствами, позволяющими снизить вибрации являются гибкие муфты вращения, которые предназначены для целенаправленного воздействия на вибрационные характеристики приводных систем при вращении. Их использование может значительно снизить амплитуды напряжений и частоту пиков перегрузки во время нерегулярных фаз работы в передающих крутящий момент частях приводных устройств. На современных морских судах широкое распространение получили муфты фирмы RENK (ФРГ) [2]. При их выборе следует учитывать ряд особенностей.

Прежде чем переходить к выбору муфт необходимо ознакомиться с их основными типами.

1. Втулки типа U - компрессионные втулки из модифицированного натурального каучука с вулканизированными полиамидными внутренними втулками используются для всех стандартных приводов. Они также зарекомендовали себя как отличное решение для асимметрично работающих приводов с переменным крутящим моментом, в частности, для машин, подверженных вибрации, т.е. дизельных и других поршневых двигателей.

2. Втулки типа V - компрессионные муфты из хлоропренового полимера с вулканизированными полиамидными внутренними втулками специально разработаны для муфт, подверженных воздействию паров нефти (минеральные масла). Они также могут использоваться для машин в тропических районах, подверженных воздействию термитов.

3. Втулка типа W - компрессионные втулки с оболочкой из азотистой резины и внутренним полиамидным наполнителем, используются для приводов, требующих углов закручивания меньше, чем те, которые достигаются с помощью втулок типа U. Втулки типа W обладают определенной степенью маслостойкости.

Их типовые применения на морских судах с учетом типоразмеров приведены в табл.1.

Таблица 1 - Типовые применения гибких муфт фирмы RENK на морских судах

Размер муфты	Частота вращения, мин ⁻¹	Мощность, кВт	Механизм
149	2000	15	Компрессор
271	1475	730	Центробежный насос
454	585	7100	Генератор
149	5000	17	Машина постоянного тока
247	1480	132	Преобразователь
335	1800	2500	Судовой турбогенератор
231	3600	410	Реверсивный судовой редуктор

При выборе гибких муфт, определяющей величиной будет вращающий момент, создаваемый первичным двигателем (электрическим, двигателем внутреннего сгорания (ДВС) или паровым:

$$T_{AN} = \frac{9550 \cdot P_H}{n_H}, \quad (1)$$

где P_H – номинальная мощность двигателя, кВт;
 n_H – номинальная частота вращения, об/мин.

Значение комплексного коэффициента, влияющего на выбор гибкой муфты с учетом различных факторов, определяется:

$$K = K_H \cdot K_T \cdot K_B \cdot K_D, \quad (2)$$

где K_H – коэффициент нагрузки;
 K_T – температурный коэффициент;
 K_B – коэффициент включения;
 K_D – коэффициент, учитывающий тип первичного двигателя.

При этом, момент в муфте, соответствующие ему напряжения или температура в материале упругого элемента, обусловленные крутильными колебаниями, при длительной работе и при быстром проходе не должны превышать допустимых значений, установленных изготовителем для указанных режимов [1].

Значение коэффициента нагрузки приведено в табл.2.

Таблица 2 - Коэффициенты нагрузки для компрессионных втулок различных типов, применяемых в разных механизмах

Механизмы	Коэффициент нагрузки K_H	
	U	V, W
Генераторы с постоянной выходной мощностью, легкие линейные валы, небольшие вентиляторы, небольшие центробежные насосы, легкие подъемники.	1,3	1,5 – 1,6
Вспомогательные машины для судов, краны, тяжелые подъемники, генераторы со слегка изменяемой производительностью, лебедки, центробежные насосы, роторные помпы и компрессоры.	1,4 – 1,5	1,6 – 1,7
Судовые винты	1,6 – 1,7	1,8 – 1,9

Значения коэффициентов температуры, включения и типа первичного двигателя приведены в табл.3.

Таблица 3 – Значения температурного коэффициента, коэффициента включения и коэффициента, учитывающего тип первичного двигателя

Температурный коэффициент K_T				Коэффициент включения K_V	Коэффициент, учитывающий тип двигателя K_D			
Тип муфты	U	V	W		Электродвигатель, турбина	ДВС дизельный/бензиновый		
-20 – +30 °С	1,0	1,0	1,0	< 40	1,0	> 6 цил.	≥ 3 цил.	≥ 1 цил.
> +30 – +40 °С	1,1	1,2	1,0	< 80	1,1			
> +40 – +60 °С	1,2	1,4	1,1	< 120	1,2			
> +60 – +70 °С	1,3	1,5	1,2	< 120–360	1,3			
> +70 – +80 °С	-	1,7	1,4			1,0	1,1	1,4
								1,6

С учетом коэффициентов, определяемых в соответствии с табл.2 и табл.3, момент в муфте составит:

$$T_{KN} = T_{AN} \cdot K. \quad (3)$$

Технические характеристики гибких муфт различных типов типоразмеров представлены в табл.4.

Таблица 4 - Технические характеристики гибких муфт различных типов типоразмеров

Типоразмер	Частота вращения		Момент в муфте $T_{кн}$ [Nm]	Статический угол скручивания φ [°] при $T_{кн}$		
	I [мин ⁻¹]	II [мин ⁻¹]		Тип U	Тип V	Тип W
018 036	6000	—	18 · 10 ⁰ 36 · 10 ⁰	3,4	2,9	2,2
044 066	6000	—	44 · 10 ⁰ 66 · 10 ⁰	3,0	2,5	1,9
098 113	6000	—	98 · 10 ⁰ 13 · 10 ¹	2,9	2,4	1,9
123 129	6000	—	23 · 10 ¹ 29 · 10 ¹	3,1	2,0	2,0
149 161	3600	5600	49 · 10 ¹ 61 · 10 ¹	3,3	2,2	2,2
184 210	3000	5000	84 · 10 ¹ 10 · 10 ²	2,9	1,9	1,9
214 215	2650	4500	14 · 10 ² 15 · 10 ²	2,9	1,9	1,9
222 228	2250	4000	22 · 10 ² 28 · 10 ²	3,0	2,1	2,1
231 237	2000	3600	31 · 10 ² 37 · 10 ²	2,6	1,8	1,8
247 259 W	1800	3300	47 · 10 ² 59 · 10 ²	3,2	2,3	2,3
271 285 W	1650	3000	71 · 10 ² 85 · 10 ²	2,8	2,0	2,0
311 314 W	1500	2800	11 · 10 ³ 14 · 10 ³	3,3	2,3	2,3
316 319 W	1250	2500	16 · 10 ³ 19 · 10 ³	2,8	2,0	2,0
324 329 W	1120	2250	24 · 10 ³ 29 · 10 ³	3,0	2,1	2,1
335 341 W	1000	2000	35 · 10 ³ 41 · 10 ³	2,5	1,8	1,8
353	850	1750	53 · 10 ³	2,7	2,0	2,0
378	750	1500	78 · 10 ³	2,1	1,5	1,5
412	630	1300	12 · 10 ⁴	2,6	1,8	1,8
416	630	1300	16 · 10 ⁴	2,4	1,7	1,7
420	560	1200	20 · 10 ⁴	2,0	1,5	1,5
426	500	1050	26 · 10 ⁴	2,7	1,9	1,9
432	500	1050	32 · 10 ⁴	2,5	1,8	1,8
443	450	890	43 · 10 ⁴	2,2	1,5	1,5
454	400	750	54 · 10 ⁴	1,6	1,2	1,2

Гибкие муфты, указанных выше типов и типоразмеров, могут применяться при различных видах угловых и радиальных смещений, возникающих в процессе эксплуатации судовых механизмов. Порядок их выбора для конкретных заданных условий эксплуатации представлен на рис. 1. При этом, допустимое радиальное или угловое смещение задается как измеренный линейный размер.

В процессе эксплуатации может возникнуть и несоосность сопряженных валов, что приводит к динамическим деформациям компрессионных втулок, которые имеют частоту вращения трансмиссии. Эти силы деформации смешиваются с силами, возникающими при передаче крутящего момента.

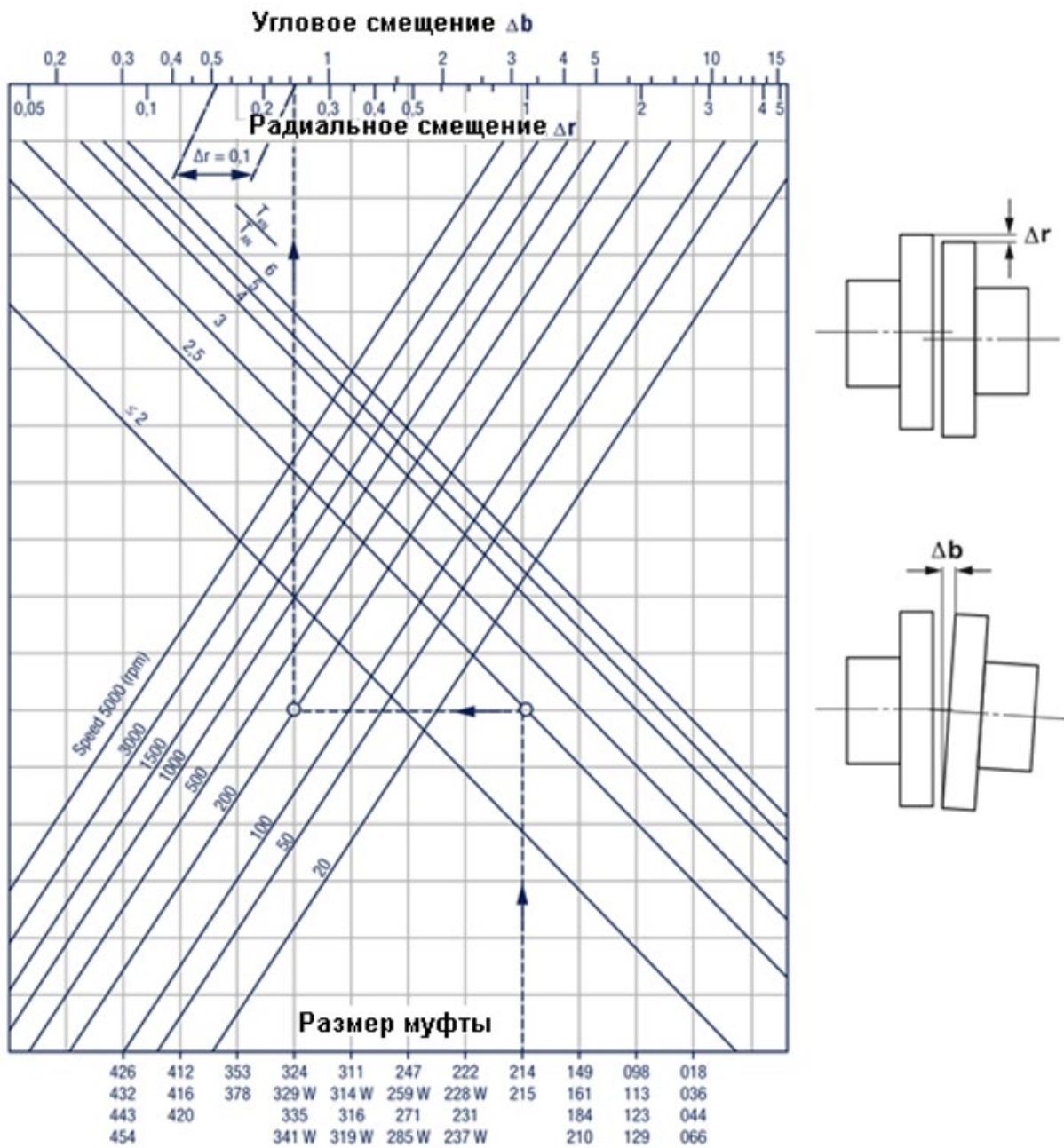


Рисунок 1 - Допустимые смещения

Силы реакции, возникающие из-за радиального смещения, противодействуют направлению смещения и оказывают влияние на нагрузку соседних подшипников.

Значение статической силы реакции опоры F_r может быть рассчитано по формуле (5). Помимо характерного поведения материала втулок сжатия, на величину силы F_r , также оказывает влияние и отношение параметров T_{AN}/T_{KN} . При этом, также должны учитываться и другие технические характеристики муфт, например, габаритные размеры и статические жесткости муфт. Для гибких муфт типа U их технические характеристики представлены в табл.5.

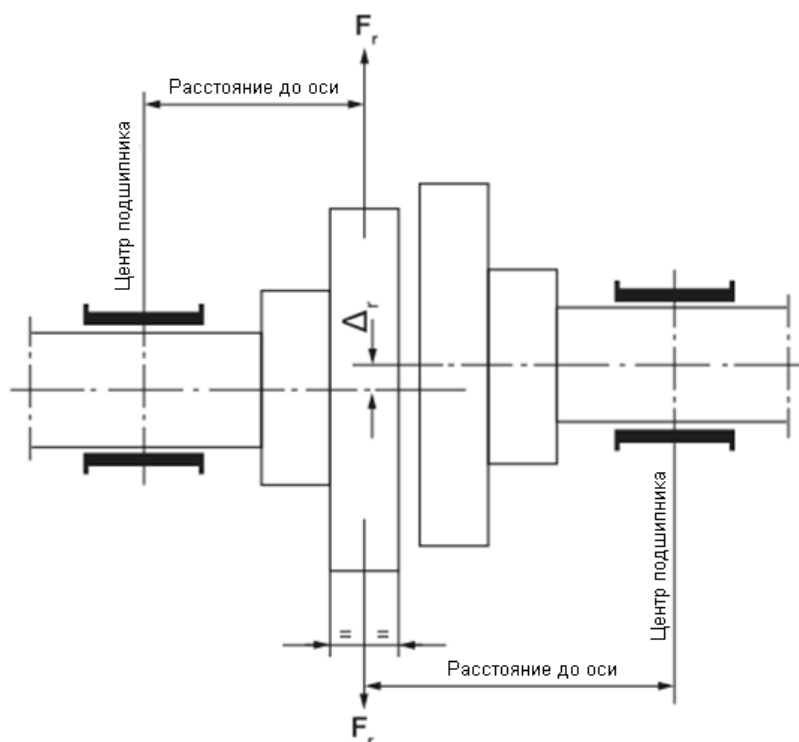


Рисунок 2 – Определение силы реакции опоры при несоосности валов

Таблица 5 – Технические характеристики муфт типа U

Типоразмер	DL	$C_{Tu\ stat}$	$C_{To\ stat}$	Типоразмер	DL	$C_{Tu\ stat}$	$C_{To\ stat}$
018	58	$2,2 \cdot 10^2$	$4,3 \cdot 10^2$	271	295	$7,8 \cdot 10^4$	$3,1 \cdot 10^5$
036		$4,4 \cdot 10^2$	$8,7 \cdot 10^2$	285 W		$9,4 \cdot 10^4$	$3,8 \cdot 10^5$
044	68	$6,0 \cdot 10^2$	$1,2 \cdot 10^3$	311	335	$1,0 \cdot 10^5$	$4,4 \cdot 10^5$
036		$9,0 \cdot 10^2$	$1,8 \cdot 10^3$	314 W		$1,3 \cdot 10^5$	$5,7 \cdot 10^5$
098	78	$1,4 \cdot 10^3$	$2,7 \cdot 10^3$	316	390	$1,7 \cdot 10^5$	$7,5 \cdot 10^5$
113		$1,9 \cdot 10^3$	$3,6 \cdot 10^3$	319 W		$2,1 \cdot 10^5$	$8,8 \cdot 10^5$
123	95	$2,8 \cdot 10^3$	$7,1 \cdot 10^3$	324	425	$2,5 \cdot 10^5$	$9,8 \cdot 10^5$
129		$3,5 \cdot 10^3$	$9,0 \cdot 10^3$	329 W		$3,0 \cdot 10^5$	$1,2 \cdot 10^6$
149	116	$5,3 \cdot 10^3$	$1,5 \cdot 10^4$	335	505	$4,3 \cdot 10^5$	$1,7 \cdot 10^6$
161		$6,7 \cdot 10^3$	$1,8 \cdot 10^4$	341 W		$5,0 \cdot 10^5$	$2,0 \cdot 10^6$
184	145	$1,0 \cdot 10^4$	$3,1 \cdot 10^4$	353	585	$5,9 \cdot 10^5$	$2,5 \cdot 10^6$
210		$1,2 \cdot 10^4$	$3,7 \cdot 10^4$	378		$1,2 \cdot 10^6$	$4,2 \cdot 10^6$
214	170	$1,7 \cdot 10^4$	$5,0 \cdot 10^4$	412	750	$1,5 \cdot 10^6$	$5,6 \cdot 10^6$
215		$1,9 \cdot 10^4$	$5,4 \cdot 10^4$	416		$2,1 \cdot 10^6$	$8,3 \cdot 10^6$
222	205	$2,5 \cdot 10^4$	$7,9 \cdot 10^4$	420	950	$3,1 \cdot 10^6$	$1,2 \cdot 10^7$
228		$3,1 \cdot 10^4$	$1,0 \cdot 10^5$	426		$2,9 \cdot 10^6$	$1,3 \cdot 10^7$
231	235	$4,1 \cdot 10^4$	$1,3 \cdot 10^5$	432	1025	$4,0 \cdot 10^6$	$1,6 \cdot 10^7$
237		$4,9 \cdot 10^4$	$1,5 \cdot 10^5$	443		$5,9 \cdot 10^6$	$2,6 \cdot 10^7$
247	255	$4,7 \cdot 10^4$	$1,8 \cdot 10^5$	443	1170	$5,9 \cdot 10^6$	$2,6 \cdot 10^7$
259 W		$5,9 \cdot 10^4$	$2,2 \cdot 10^5$	454		$8,5 \cdot 10^6$	$3,6 \cdot 10^7$

$$F_r = \frac{C_{Tstat} \cdot 10^3}{[0,5 \cdot D_L]^2} \cdot \Delta_r. \quad (4)$$

$$C_{Tstat} = C_{Tustat} \cdot \left[\frac{C_{Tostat}}{C_{Tustat}} \right]^{\frac{T_{AN}}{T_{KN}}}, \quad (5)$$

где C_{Tstat} - эффективная статическая жесткость при кручении, Н·м/рад;
 C_{Tostat} - статическая жесткость на кручение при номинальном моменте T_{KN} , Н·м/рад;
 C_{Tustat} - статическая жесткость на кручение при нулевом перемещении, Н·м/рад;
 D_L - диаметр муфты, мм;
 Δ_r - радиальное смещение, мм;
 F_r - сила реакции, Н;

Выводы:

1. Представлена упрощенная методика, позволяющая выбирать упругие муфты для наиболее распространенных судовых механизмов с учетом образовавшихся износов.
2. Применение гибких муфт, например, при соединении поршневых машин с приводимыми в действие механизмами позволяет обеспечить более тихую работу за счет смещения областей критического крутящего момента.
3. Благодаря их общим характеристикам упругости радиальные, осевые и угловые смещения вала могут быть компенсированы, что устраняет необходимость в обычно дорогостоящих фундаментах машин.
4. Несмотря на широкие возможные гибких муфт, кроме всего следует выявлять и причины их появления.

Список литературы: 1. Российский морской регистр судоходства. Правила классификации и постройки морских судов. Часть VII Механические установки. НД № 2-020101-138. / ФАУ «Российский морской регистр судоходства». Санкт-Петербург, 2021г. 118 С. 2. Innovative Power Transmission. ELCO-Coupling Flexible Compression Sleeve Coupling. <http://www.renk.eu>

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПРОФЕССИОНАЛЬНО-ПРИКЛАДНЫХ КАЧЕСТВ СТУДЕНТОВ ИНЖЕНЕРНО-ТЕХНИЧЕСКИХ СПЕЦИАЛЬНОСТЕЙ

Репневская М. С., Лахин А.М.
(ФГБОУ ВО ДонНТУ, г. Донецк, Россия)
Тел. +7(949)3952190; E-mail: mayarepnev@gmail.com

Abstract: *At the moment, in the system of professional Eurasian education, there are trends of problems not only in the field of intellectual activity, but also in insufficient professional and applied physical fitness of engineering and technical personnel. The peculiarity of technical objects is that they can be accurately measured and calculated, so the professions of this group require a person to combine a practical mindset and creativity, accuracy, but also good physical health.*

Key words: *engineering and technical specialty, psycho-physical qualities, physical fitness of an engineer, professional qualities of engineering and technical specialties, PFP (professional-applied physical training).*

Будущая работа студентов инженерно-технического направления связана с планированием, организацией, управлением, принятием нестандартных решений, что позволяет отнести их профессию к классу творческих.

Также студенты технических специальностей относятся к типу «Человек – Техника». Профессии данного типа связаны с созданием, монтажом, сборкой и наладкой технических устройств, с эксплуатацией технических средств, с ремонтом техники. Особенность технических объектов в том, что они могут быть точно измерены и просчитаны, поэтому профессии этой группы требуют от человека сочетания практического склада ума и творческих способностей, точности, но и хорошего физического здоровья.

К профессионально важным качествам относятся [2]:

- высокая работоспособность;
- технический склад ума;
- пространственное воображение;
- точность выполнения всех инструкций;
- склонность к практическому труду;
- эмоциональная устойчивость.

К личностным качествам относятся:

- пространственное воображение;
- хорошая память;
- высокий уровень внимания и умение концентрироваться на сложных процессах;
- усидчивость и аккуратность;
- ответственность.

Работа будущего технического специалиста связана с созданием, монтажом, сборкой и наладкой технических устройств, с эксплуатацией технических средств и с ремонтом техники. Это требует не только умственных и психологических затрат, но и физических затрат от специалиста данной категории. Необходима также и общая выносливость организма.

Профессионально-прикладная физическая культура (ППФК) - часть культуры труда и физической культуры в целом, специфика которой заключается в направленности на содействие развитию и оптимизации условий для реализации психофизических качеств и психофизиологических процессов в человеческом организме в профессиональной деятельности [3].

ППФК, которая объединяет в себе контексты культуры личности в целом, а также знание факторов ППФК и владение соответствующей системой организационно-методических приемов и способов. Профессиональная работоспособность - способность длительное время и в заданном объеме производить ту или иную работу, определяемая соотношением эффективности труда специалиста и затраченных им усилий [4]. Функциональные резервы - это резервы саморегуляции адекватного расходования энергетических ресурсов организма при выполнении конкретного вида профессиональной деятельности с таким напряжением механизмов компенсации, которое не приводит к негативным изменениям существующего гомеостаза. Адаптация к профессиональной деятельности - перестройка психофизиологических процессов в организме для его приспособления к изменяющимся условиям производственной и внешней среды. Поэтому содержание и средства ППФП студентов должны различаться не только на уровне факультета или специальности, но и на уровне студента, и организация ППФП требует глубокой ее дифференциации и индивидуализации как по времени на отдельных этапах обучения, так и по характеру трудовой деятельности. В данных условиях наиболее целесообразным является сочетание групповых занятий по специальным программам для студентов близких специальностей и профессий, требующих развития одинаковых физических и психических качеств, и индивидуальных занятий в спортивных секциях или самостоятельно под контролем преподавателя [4].

Для успешной организации ППФП необходимо разработать классификацию профессий применительно к решению задач ППФП, объединив в одну группу профессии, предъявляющие сходные требования к уровню развития различных физических и психических качеств и их сочетанию. В соответствии с этим можно разделить все профессии, по которым работают студенты в период инженерно-производственной подготовки на рабочих должностях, на следующие группы [5]:

1 группа - профессии умственного и преимущественно умственного труда. К ним следует отнести операторские виды деятельности, виды управленческого труда, как, например, нормировщик, оператор ЭВМ. Основная особенность профессий этой группы состоит в том, что наибольшая нагрузка в процессе труда приходится на центральную нервную систему. Перечисленные профессии относятся к видам малоподвижного труда и требуют небольших затрат физической энергии. Преобладающая рабочая поза - сидя, двигательные действия минимальны и обычно сводятся к малоамплитудным движениям с незначительным напряжением мышц кисти и пальцев рук.

Успешная деятельность людей этих профессий во многом зависит от общей выносливости. При достаточной степени развития этого качества человек может в течение более продолжительного времени удерживать высокий уровень профессиональной работоспособности.

Специфика труда работников этой группы является причиной ряда заболеваний (болезнь сердца, нарушение обмена веществ, миопия, обусловленная постоянным напряжением органов зрения, нарушение осанки и др.). Поэтому для них особенно необходимы занятия физическими упражнениями, обеспечивающими хорошее состояние нервной системы.

Требуется также умение быстро перерабатывать информацию, выносливость к продолжительной однообразной умственной работе, устойчивость внимания. Хорошая эмоциональная устойчивость помогает быстро оценить обстановку и выбрать наиболее подходящие пути решения возникающих вопросов.

2 группа - профессии, связанные с монтажом, наладкой и ремонтом оборудования. Монтажники и ремонтники работают часто в неудобной позе, согнувшись в положении приседа и т.п., с пребыванием на высоте, работа требует перемещения небольших грузов.

Специфика выполняемых производственных операций требует значительного статического напряжения мышц, удерживающих определенную рабочую позу, мышц рук и плечевого пояса. Общая физическая нагрузка на организм средняя или большая. Для успешного выполнения работ по монтажу, наладке и ремонту оборудования необходимо развивать силу и статическую выносливость мышц рук и плечевого пояса, точность дозирования мышечных усилий, общую выносливость организма, чувство равновесия.

Рабочие этих профессий должны владеть навыками лазания по различным конструкциям, умением прыгать из различных положений, сохранять равновесие в условиях ограниченной опоры. Кроме того, они должны обладать хорошим чувством пространства, скорости движения, широким полем зрения, способностью одновременно воспринимать несколько объектов.

В ряде случаев работа людей этих профессий связана со специфическими условиями труда. Так, работа в кузнечно-прессовых цехах выполняется в зоне повышенной температуры, в условиях повышенного шума. В этих случаях необходима повышенная устойчивость организма к перечисленным неблагоприятным факторам.

3 группа - профессии станочного профиля. К ним относятся токари, фрезеровщики, шлифовщики, сверловщики. Работа протекает в основном в позе стоя на месте или передвигаясь. Основными двигательными действиями являются сложнокоординированные движения рук, пальцев кисти. Их деятельность требует устойчивого внимания, точности глазомера, тонкой дифференциации слуховых раздражителей, быстроты действий. Общие физические усилия в процессе труда средние.

Для успешного выполнения производственных операций у специалистов данных профессий должна быть хорошо развита общая выносливость организма, сила мышц туловища, удерживающая рабочую позу, координация движений рук и кистей, устойчивость внимания, мышечная чувствительность и возможность точного визуального контроля за выполнением рабочих движений. Кроме того, станочники должны иметь хорошую подвижность суставов кистей рук и обладать навыками быстрого, точного передвижения между станками. Качество управления станком во многом зависит от устойчивости вертикальной позы.

4 группа - профессии поточно-конвейерного производства. Работа характеризуется однообразием выполняемых рабочих движений, которые повторяются в определенной последовательности и через определенные промежутки времени, обусловленные скоростью движения конвейера.

Чаще всего конвейерные работы характеризуются монотонностью, так как в течение рабочего дня рабочим приходится многократно выполнять одни и те же движения. На автосборочном конвейере преобладает поза стоя, а иногда и другие позы, подчас неудобные, при сборке в труднодоступных местах. Необходимость успевать за скоростью движения конвейера делает этот вид труда нервно напряженным. Физические усилия при выполнении рабочих операций средние, на некоторых операциях даже большие. Успешное выполнение работ в условиях поточно-конвейерного производства зависит от уровня общей выносливости, быстроты и хорошей координации движений.

5 группа - профессии, связанные со специфическими условиями труда. Эта работа протекает в условиях повышенных температур и их колебаний, воздействия

теплового излучения, сочетающихся с напряженной мышечной деятельностью. Рабочая поза - стоя или передвигаясь. Условия работы характеризуются также загазованностью, шумом. Большая нагрузка приходится на зрение и внимание. Профессионально важными в этих видах деятельности являются общая выносливость, концентрация внимания, высокие возможности терморегуляции.

Результаты исследований. Переход на работу на инженерно-технические должности во многих случаях связан со снижением двигательной активности, длительным пребыванием в вынужденной позе сидя или стоя. Понижение двигательной активности ухудшает профессиональную работоспособность; оказывает отрицательное влияние на жизненно важные функции и системы организма [3].

Поэтому важное значение приобретает воспитание у специалиста способности сохранять высокую работоспособность в условиях длительной гиподинамии, развитие статической выносливости мышц туловища, спины, испытывающих наибольшее напряжение во время малоподвижной работы [5]. В профессиональной деятельности любого инженера гораздо чаще, чем при работе на рабочих должностях, встречаются операции, связанные с манипулированием небольшими предметами, инструментами, органами управления, что требует умения дозировать небольшие по величине силовые напряжения, выполнять быстрые, точные и экономичные движения, ловкости и координации движений рук и пальцев.

Эти качества необходимы специалистам очень многих инженерных профессий. Причем актуальность их развития возрастает в условиях научно-технического прогресса [1,2]. Важную роль в деятельности инженера играют психические качества. Ему необходимы, например, такие качества, как способность одновременно воспринимать несколько объектов (объем внимания), выполнять несколько действий (распределение внимания), быстро переносить внимание с одного объекта на другой (переключение внимания), сосредотачиваться на одном объекте (концентрация внимания), способность удерживать требуемую интенсивность внимания в течение длительного времени (устойчивость внимания). Так, труд инженера в конструкторском бюро характеризуется определенными условиями, не зависящими от специальности. Это же можно сказать и о других видах инженерной деятельности. Например, инженер-механик может выполнять самые разнообразные функции: заниматься разработкой и исследованием технологических процессов механической обработки и сборки, проектированием и эксплуатацией металлорежущего оборудования [5].

Работа на машиностроительных заводах в должности мастера, технолога, начальника смены, механика цеха, контрольного мастера требует наблюдательности, внимания, организаторских и педагогических способностей и навыков, большой целеустремленности, энергичности, контактности, умения ладить с людьми. Специфические требования, связанные с физической и психической подготовленностью предъявляются к специалистам, работающим в должностях инженеров-конструкторов, инженеров-исследователей в проектно-конструкторских бюро, лабораториях завода, специализированных технологических и конструкторских организациях. Эти специалисты многие часы проводят у кульмана, станка, работают с тонкими инструментами, чертежными принадлежностями. Все это требует от них остроты зрения, точности глазомера, хорошего слуха, высокой тактильной и кинестетической чувствительности.

Необходимы также большая общая выносливость мышц рук, устойчивость к гиподинамии, статическая выносливость мышц туловища, спины, высокая координация и точность движения рук, быстрая и точная реакция слежения, хорошо развитое пространственное воображение, чувство формы, скорости, умение концентрировать внимание [4]. Это относится к инженерам, занимающим должности,

связанные с непосредственной работой, в таких цехах, как термический, литейный, кузнечный. Работа в этих цехах предъявляет повышенные требования к функциональному состоянию сердечно-сосудистой и дыхательной систем, системе терморегулирования, опорно-двигательного аппарата [3].

Для выбора эффективных форм ППФП необходимо исследование внутренней структуры физических упражнений для определения их адекватности трудовым и спортивным движениям и определения степени пригодности для выработки требуемых навыков [1]. Легкая атлетика имеет большое значение в формировании и совершенствовании многих профессионально необходимых психофизических качеств. (Рис. 1)

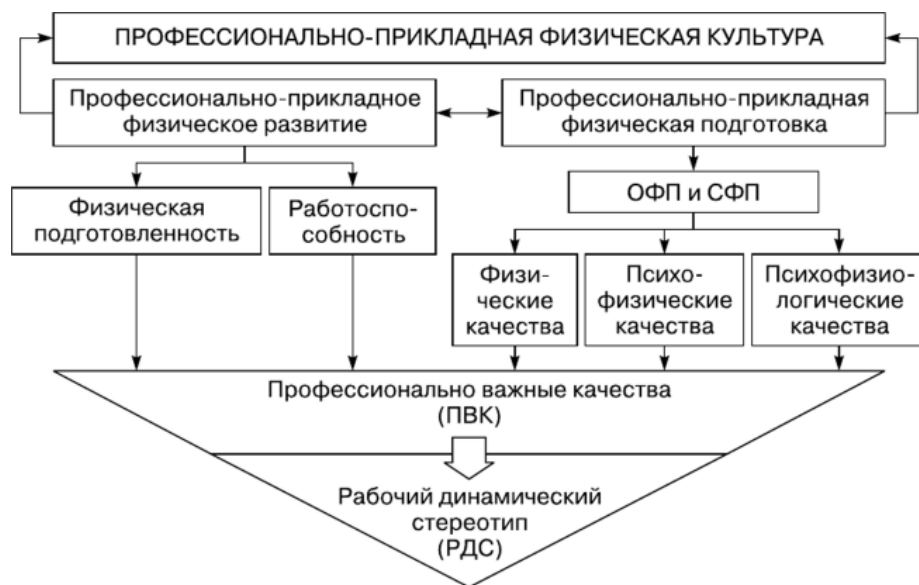


Рис. 1. Схема профессионально-прикладной физической подготовки для инженерно-технического персонала

Это объясняется тем, что легкоатлетические упражнения требуют работы многих мышц, что позволяет выбирать упражнения в соответствии с необходимостью выработки и совершенствования тех или иных качеств в зависимости от характера профессиональной деятельности будущего специалиста. Кроме того, легкая атлетика занимает по объему часов учебных занятий главное место в программах физического воспитания. Легкоатлетические упражнения обеспечивают формирование большинства важных качеств, таких как: способность дозировать силовые напряжения (метания), общая выносливость (длительный медленный бег, кроссовый бег), статическая выносливость и устойчивость к гиподинамии (продолжительный бег, метания), сенсомоторная реакция (бег с низкого старта, эстафетный бег), быстрота (бег на короткие дистанции), ловкость (прыжки, челночный бег), устойчивость к воздействию неблагоприятных условий (проведение занятий на открытом воздухе в любую погоду), волевое поведение в условиях эмоциональной напряженности (эстафетный бег, прыжки в высоту).

Плавание включено в программу по физической подготовке как обязательный вид подготовки, имеющий важное оздоровляющее и прикладное значение. Плавание оказывает всестороннее положительное воздействие на функционирование всех физиологических систем человека. Плавание - одно из средств снятия эмоционального напряжения, что особенно важно для работников умственного труда. Овладение прикладными видами плавания является неотъемлемой частью профессиональной подготовки для ряда специалистов, например работников водного транспорта.

Большое значение в решении задач ППФП имеют спортивные игры.

Спортивные игры с мячом являются эффективным средством развития таких специальных прикладных качеств, как координация движений, ловкость, внимание. Занятия спортивными играми способствуют гармоничному развитию основных физических качеств - силы, выносливости, быстроты, гибкости. При занятиях спортивными играми улучшаются функции вестибулярного аппарата, совершенствуется точность движений, увеличивается поле зрения. Этот вид спорта дает хорошую разностороннюю физическую подготовку и является ценным средством прикладной физической подготовки. Одной из обязательных программных спортивных дисциплин является гимнастика. Гимнастические упражнения способствуют развитию координации движений, ловкости, гибкости, совершенствуют функции дыхательного аппарата, улучшают мышечно-суставные ощущения и восприятия, осанку.

Многие прикладные виды спорта (автомобильный спорт, парашютный, водно-моторный и др.) следует рассматривать для ряда специальностей и профессий как неотъемлемый элемент профессиональной подготовки [4,5]. Эти виды спорта кроме благоприятного воздействия на улучшение функций организма и физическую подготовленность, способствуют приобретению знаний и навыков в специальных инженерно-технических дисциплинах, что повышает уровень профессиональной подготовки.

Выводы. Таким образом работа инженерно-технического персонала предъявляет повышенные требования к функциональному состоянию сердечно-сосудистой и дыхательной систем, системе терморегулирования, опорно-двигательного аппарата. Проведенный краткий анализ специфики обучения, анализ требований, предъявленных к профессиональной подготовленности студентов, обучающихся по различным специальностям, к их работе в период прохождения инженерно-производственной подготовки на рабочих и инженерно-технических должностях, позволяет разработать рекомендации по рациональной организации, выбору средств и методов ППФП при интегрированной системе обучения.

Список литературы: 1. Генш Н.А. «Справочник по реабилитации» / Н.А. Генш, Т.Ю. Клипина, Ю.Н. Улыбина. - Ростов н /Д: Феникс, 2008.- 348, (1) с : ил.- (Справочник). 2. Головин В.А. «Физическое воспитание»: Учебник / Под ред. Головина В.А., Маслякова В.А., Коробкова В.А. и др. – М.: Высш. шк., 1983.-391с. 3. Козлова Л.В. «Основы реабилитации для медицинских колледжей»: Учеб. пос. \ Л.В. Козлова, С.А. Козлов, Л.А. Семенов; под общ. ред. Б.В. Кабарухина. - Изд. 5-е. - Ростов н /Д: Феникс, 2008.- 475с.:ил.- (Среднее профессиональное образование). 4. Краснов В.П., Присяжнюк С.И., Раевский Р.Т. «Основы оздоровительной тренировки.» Метод. рекомендации для проведения практических занятий по физическому воспитанию студентов специального учебного отделения. – К.: Аграрна освіта, 2005. – 56с. 5. Виды спорта и физические упражнения для достижения целей ППФП. [Электронный ресурс]. Режим доступа. https://www.bsut.by/images/MainMenuFiles/Obrazovanie/Kafedry/FizicheskoeVospitanieiSport/lectures/3_1.pdf.

ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ ИНСТРУМЕНТА НА КАЧЕСТВО ПОРОШКОВОЙ ЗАГОТОВКИ ПРИ СВОБОДНОМ ДОРНОВАНИИ

Рябичева Л.А., Белозир И.И. (ЛНУ им. В. Даля, г. Луганск, ЛНР)
Тел. +7959-128-13-13; E-mail: ryabic80@mail.ru

Abstract. *The article presents a computer simulation of the effect of the tightness and the intake cone of the mandrel on the strength and relative density of the powdered porous billet. It is found, that an increase in the relative tension provides an increase in the mandrel force and the relative density of the material in the area of the hole of the hollow workpiece. An increase in the angle of the mandrel intake cone leads to an increase in the mandrel force and relative density, which is provided, by a large hydrostatic pressure in absolute magnitude, the intensity of stresses and deformations. However, at the same time, the thickness of the compacted layer decreases and the nature of plastic deformation changes, a metal cut is possible.*

Keywords: *powder billet, burnishing, tight, intake cone, intensity of stress, intensity of strain, force, relative density, offset.*

Актуальной проблемой машиностроения является изготовление изделий с отверстиями высокой точности и качества. Характерной особенностью изделий из порошковых материалов является наличие пористости, регулирование которой позволяет в широких пределах управлять физико-механическими и эксплуатационными свойствами [1]. Для порошковых пористых изделий способы поверхностного пластического деформирования предназначены как для уплотнения порошкового материала, так и для повышения прочностных свойств и улучшения качества поверхности [2]. В работах [3, 4] показано применение свободного дорнования отверстий для медных порошковых пористых заготовок. Дорнование обеспечивает упрочнение металла, изменение линейных размеров обрабатываемых заготовок, трение и высокие давления на контактных поверхностях и др. [5, 6].

Целью работы является компьютерное моделирование изменения величин натяга и заборного конуса инструмента и их влияние на силу и относительную плотность при свободном дорновании порошковой полой заготовки.

Использовали специализированную инженерную программу Deform-3D, основанную на методе конечных элементов.

Для исследований выбран порошок стабилизированный медный марки ПМС-1 (ГОСТ 4960-75), получаемый электролитическим методом, который легировали порошковым титаном марки ВТ1-0 (ОСТ 1.90013-81) путем добавки в шихту 2 % по массе. Для моделирования использовали полую заготовку с исходной пористостью 15 %. Размеры заготовки: исходный внутренний диаметр $d_0 = 9,8$ мм, наружный диаметр $D_0 = 30$ мм, высота $L_0 = 20$ мм. При выполнении эксперимента варьировали величиной натяга, который принимали 0,2, 0,5, 0,8 мм за счет внутреннего диаметра заготовки.

Для моделирования влияния угла заборного конуса использовали заготовку с исходным внутренним диаметром 9,5 мм, наружным диаметром $D_0 = 28$ мм, длиной $L_0 = 20$ мм. Моделирование выполняли для дорнов с углом заборного конуса $\alpha = 2^\circ, 4^\circ, 6^\circ, 10^\circ$ и 15° . Угол обратного конуса принимали равным углу заборного, $\alpha_1 = \alpha$. Натяг дорнования равен 0,5 мм.

Расчеты выполняли по жесткопластической модели уплотняемого материала, в которой полностью пренебрегают упругими деформациями, что вполне приемлемо для порошковых материалов, так как структурная деформация развивается одновременно с упругой деформацией.

Для моделирования использован вариант теории пластичности пористых тел, предложенный в работе [4]. В его основе лежит представление о пластическом

потенциале, как о функции компонентов тензора напряжений, которому в пространстве напряжений соответствуют гладкая, выпуклая и замкнутая поверхность. На основе многочисленных экспериментальных и теоретических исследований он может быть представлен в форме:

$$F = \frac{\tau^2}{\varphi} + (1+m)^2 \frac{\left(p + \frac{m}{m+1} \bar{\rho} \sigma_s \sqrt{\psi} \right)}{\psi} - \bar{\rho} \sigma_s ,$$

где $p = \frac{1}{3} \sigma_{ij} \delta_{ij}$ - гидростатическое давление;

$\tau = \sqrt{(\sigma_{ij} - p \delta_{ij})(\sigma_{ij} - p \delta_{ij})}$ - интенсивность касательных напряжений.

Пористость θ или относительная плотность $\bar{\rho}$ связаны между собой соотношением $\bar{\rho} = 1 - \theta$. Функции пористости описываются:

$$\varphi = (1 - \theta)^2, \quad \psi = \frac{2(1 - \theta)^2}{3\theta}.$$

Параметр m характеризует степень несовершенства контактов в порошковой заготовке. Он же определяет различное сопротивление пористой заготовки при ее испытании на растяжение и сжатие. Параметр σ_s характеризует напряжение течения твердой фазы пористой заготовки [7]. Трение задавали по закону Зибеля $\tau_f = m \sigma_s$, где m - фактор трения; для процессов холодной деформации при наличии смазки принимали $m = 0,08$.

На рис. 1 показано изменение силы дорнования поллой заготовки с различным натягом. При относительном натяге равном 2 % и 5,3 % на кривых наблюдается плато. Происходит перемещение частиц в результате структурной деформации. При таких величинах относительного натяга невозможно достичь максимальную плотность материала. При относительном натяге 8,7 % на кривой отсутствует плато, что связано с предельным уплотнением материала. Дальнейшее увеличение натяга очевидно уже не приводит к большему уплотнению материала. Действительно, на рис. 2, показывающем зависимость изменения объема поллой заготовки от натяга, сначала наблюдается его увеличение, что соответствует увеличению плотности, а затем при натяге более 0,8 мм даже некоторое уменьшение.

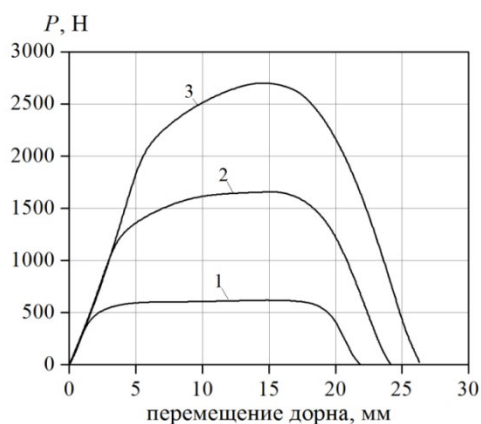


Рис. 1. Сила дорнования поллой заготовки при относительном натяге: 1 - 2 %; 2 - 5,3 %; 3 - 8,7 %

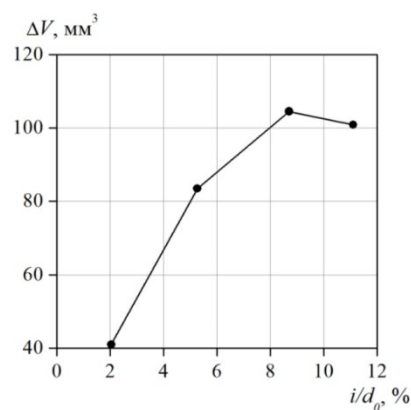


Рис. 2. Изменение объема поллой заготовки после дорнования в зависимости от натяга

Изменение объема материала полрой заготовки после дорнования способствует его уплотнению. При относительном натяге 2 % максимальная относительная плотность не достигается (рис. 3). В данном случае на поверхности отверстия она равна 0,93, длина очага уплотнения составляет 1,8 мм. При относительном натяге 5,3 % относительная плотность на поверхности отверстия увеличивается до 0,94, а длина очага уплотнения до 4,6 мм. При относительном натяге 8,7 % относительная плотность на поверхности отверстия остается равной 0,94, длина очага уплотнения составляет 5,6 мм.

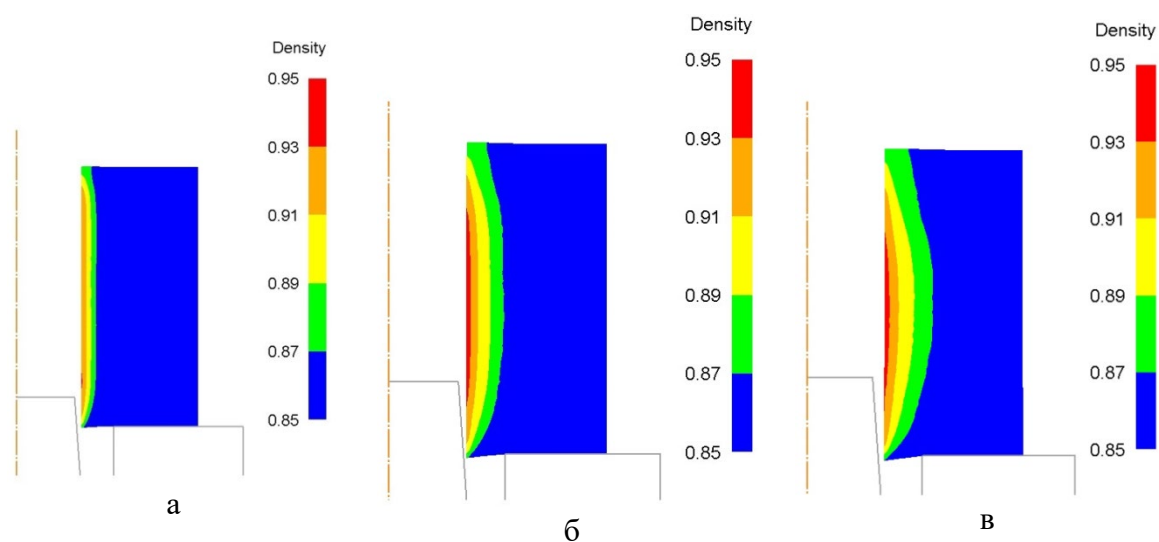


Рис. 3. Распределение относительной плотности после дорнования с относительным натягом: а – 2 %; б – 5,3 %; в – 8,7 %

При дорновании полрой заготовки увеличение относительного натяга более 8,7 % не приводит к увеличению относительной плотности материала, но обеспечивает увеличение очага деформации, следовательно, увеличивается упрочнение (рис. 4,а).

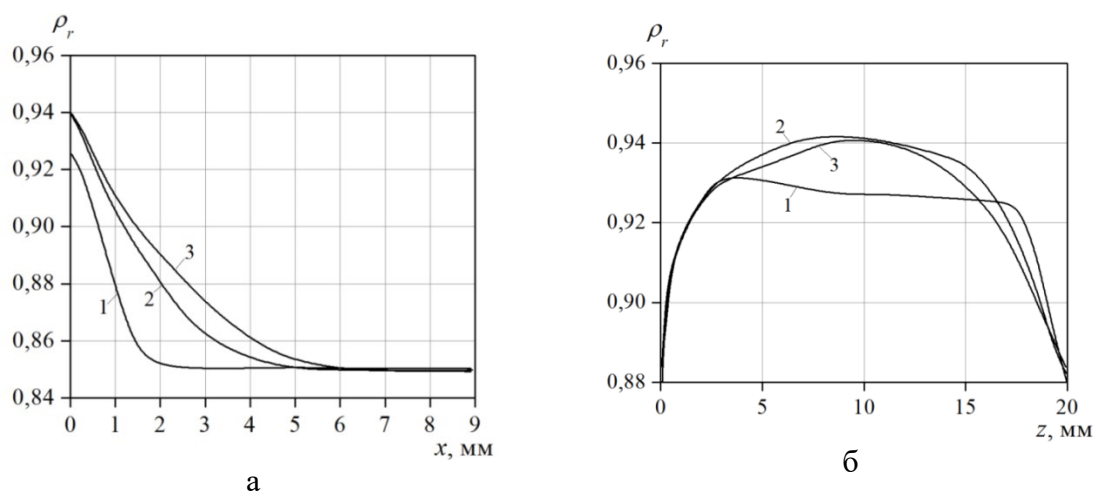


Рис. 4. Изменение относительной плотности по толщине стенки - а и по длине образующей отверстия - б полрой заготовки после дорнования с относительным натягом: 1 – 2 %; 2 – 5,3 %; 3 – 8,7 %

Распределение плотности на внутренней поверхности полрой заготовки после дорнования (рис. 4, б) показывает, что при относительном натяге 2 % относительная

плотность практически постоянна на большей части длины заготовки. При большем относительном натяге величина относительной плотности по длине заготовки распределена менее равномерно.

Величина силы дорнования минимальна для дорна с углом заборного конуса $\alpha = 4^\circ$ (рис. 5,а), что характерно и для дорнования отверстий в деталях из литой стали.

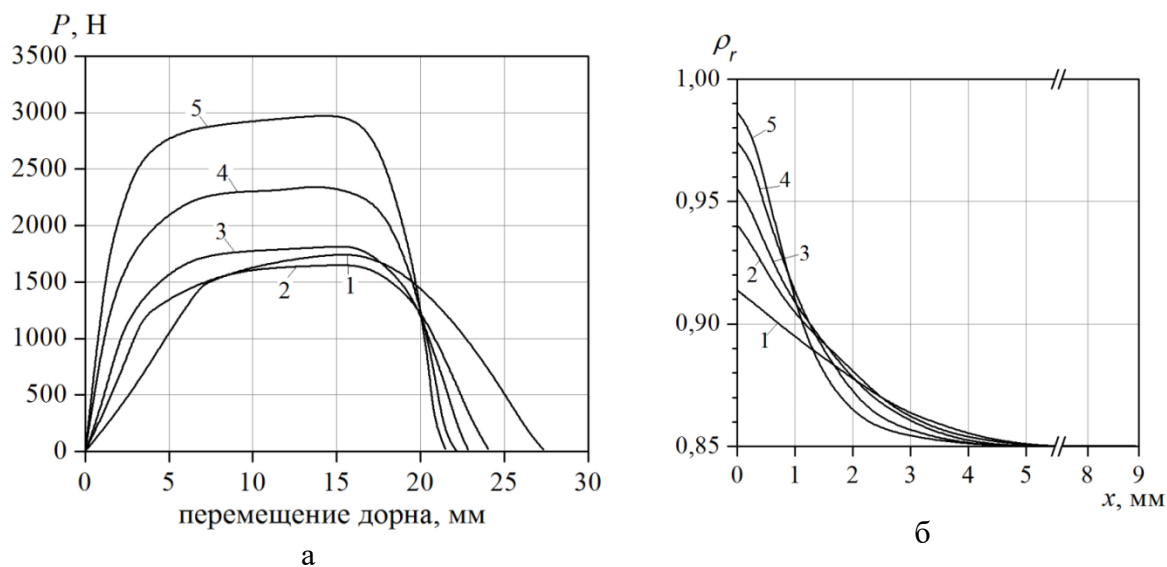


Рис. 5. Изменение силы дорнования полой заготовки – а относительной плотности – б дорном с углом заборного конуса: 1 – 2° ; 2 – 4° ; 3 – 6° ; 4 – 10° ; 5 – 15°

Сила дорнования с дорном $\alpha = 15^\circ$ имеет резкий подъем при входе дорна в отверстие, а при выходе его из отверстия – спад. Такой характер кривой может быть объяснен тем, что при больших углах заборного конуса происходит не радиальное сжатие или осевое смещение, а резание инструментом с отрицательным передним углом с образованием стружки, что особенно опасно для порошковых материалов.

Моделирование показывает, что по мере увеличения угла заборного конуса α происходит рост относительной плотности материала на внутренней стенке полого цилиндра практически до компактного состояния, а ее распределение по длине цилиндра становится более равномерным (рис. 5,б). При этом, с ростом угла α толщина уплотненного слоя уменьшается.

Хотя при величине угла $\alpha = 4^\circ$ гидростатическое давление на контактной поверхности (165 МПа) намного ниже, чем при $\alpha = 15^\circ$ (349 МПа), напряжение достигает нуля на большем расстоянии от образующей отверстия: 4,7 мм и 3,6 мм, соответственно. Это приводит к тому, что при малых углах заборного конуса уплотнение материала распространяется на несколько большую глубину, но на внутренней стенке полой заготовки относительная плотность материала меньше. Такое различие в величине гидростатического давления в очаге деформаций приводит к значительным отличиям в интенсивности деформаций и интенсивности напряжений в окрестности отверстия после дорнования (рис. 6). При угле заборного конуса 15° процесс дорнования идет более равномерно. Однако, большая силы дорнования указывает на значительное пластическое перемещение металла в направлении движения дорна. При угле заборного конуса 4° сила меньше, т.к. уменьшаются объемы смещенного металла.

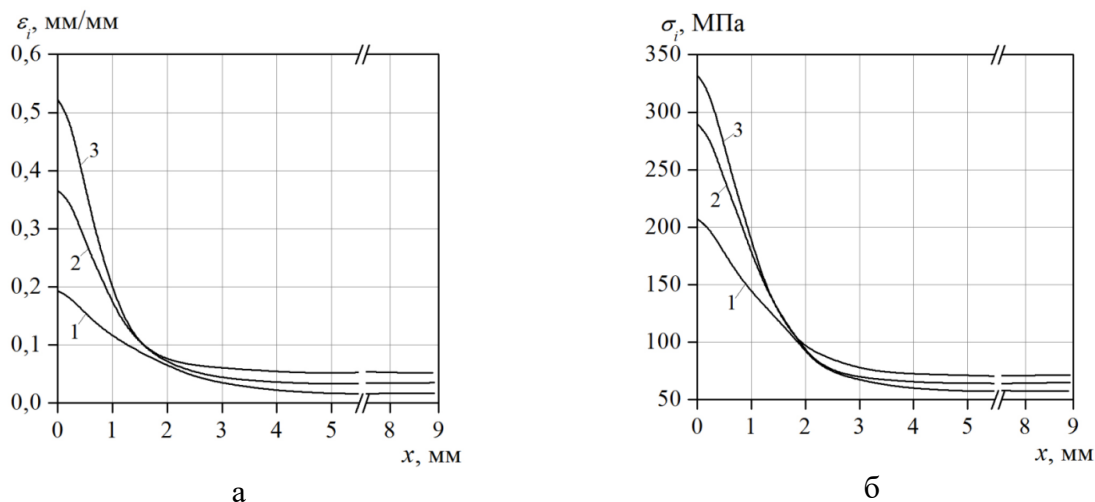


Рис. 6. Изменение интенсивности деформаций – а и напряжений – б по толщине стенки полой заготовки после обработки дорном с углом заборного конуса: 1 – 4°; 2 – 10°; 3 – 15°

Исследования показали, чем больше величина относительного натяга, тем больше сила дорнования и больше относительная плотность материала в зоне отверстия полой заготовки. Увеличение натяга более 8,7 % не приводит к увеличению относительной плотности материала. Увеличение угла заборного конуса дорна до 15° приводит к увеличению силы дорнования до 3000 Н и относительной плотности до 0,99, что обеспечивается большим по абсолютной величине гидростатическим давлением, интенсивностью напряжений и деформаций. Однако, при этом уменьшается толщина уплотненного слоя и изменяется характер пластической деформации, возможен срез металла. Моделирование показывает, что дорнование отверстий в деталях из порошковых пористых материалов дорнами с большими углами заборного конуса обеспечивает уплотнение материала на поверхности отверстия до практически компактного состояния с высоким упрочнением, при этом уменьшается толщина уплотненного слоя. Пластическим состоянием порошкового материала можно управлять за счет конструктивных и геометрических параметров инструмента, в результате повышается качество уплотнения внутренней поверхности полой заготовки.

Список литературы: 1. Друянов Б.А. Прикладная теория пластичности пористых тел. М.: Машиностроение, 1989. – 168 с. 2. Ильюшин А. А. Механика сплошной среды / А. А. Ильюшин // М. : Изд-во МГУ, 1990. – 310 с. 3. Розенберг А.М., Розенберг О.А. Механика пластического деформирования в процессах резания и деформирующего протягивания. – Киев: Наукова думка, 1990. – 320 с. 4. Розенберг О.А., Цеханов Ю.А., Шейкин С.Е. Технологическая механика деформирующего протягивания. – Воронеж: ВГТА, 2001. – 203 с. 5. Скворцов В.Ф. Дорнование глубоких отверстий малого диаметра: Монография / В.Ф. Скворцов, А.Ю. Арляпов. – Томск: Изд-во ТПУ, 2005. – 92 с. 6. Проскуряков Ю.Г. Дорнование цилиндрических отверстий с большими натягами / Ю.Г. Проскуряков, Г.И. Шельвинский. – Ростов н/Д : РГУ, 1982. – 168 с. 7. Паршин В.С. Практическое руководство к программному комплексу Deform-3D / В.С. Паршин // Екатеринбург: УрФУ, 2010. - 266 с.

ИЗМЕНЕНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ КОНДЕНСИРОВАННЫХ МАТЕРИАЛОВ ОТ ГИПЕРФОНОНОВЫХ ВОЗМУЩЕНИЙ

Савченко В.В. Костюков В.А., Полуянович Н.К.

(ЮФУ, г. Таганрог, Россия Тел: 89508609983, E-mail: nik1-58@mail.ru)

Abstract. The general properties of the transition of a material to a stable state are considered, implying an abrupt change of the ordered potential energy into a dark isotropic one (accumulation of potential energy by resonance and the form of energy discharge).

Keywords: physical properties of condensed materials, accumulation of potential energy, hyperphonic disturbances

Обоснование актуальности. Исследуются: форма кратеров на различных конденсированных материалах космической среды (поверхность Луны и ей подобных тел, астероидов, комет, планет), а также поведение метеорных конденсированных материалов при взаимодействии с атмосферой Земли.

Обзор литературных источников. В 1988 году журнал "Наука и жизнь" опубликовал статью доктора технических наук, академика Российской академии ракетно-артиллерийских наук В. В. Яворского "Энергия "из ниоткуда" [1]. В ней сообщалось, что при работе над средствами поражения брони было обнаружено крайне любопытное явление. При внедрении в стальную плиту бронебойного снаряда из твердого металла массой 4 килограмма, не снаряженного взрывчатым веществом, вокруг пробойны возникла зона цветов побежалости, свидетельствующая о сильном нагреве. Как показала оценка [1], количество выделившейся тепловой энергии при столкновении высокоскоростных материалов (более 400 м/сек) с неподвижными материалами приводит к выделению тепловой энергии которая в 400% раз превышает энергию затраченную на разгон. Проведенные в [1] исследования на моделях - легких ударниках и прямые измерения количества выделившегося тепла в калориметре подтвердили наличие странного явления. Превышение тепловой энергии над кинетической для модели массой 61,5 грамма составило 20%, массой 88,5 грамма - 48%: явно прослеживалась роль масштабного фактора. Сотрудники ФИАН им. П. Н. Лебедева, к которым обратились за консультацией, объяснить происходящее не смогли, но указали, что обнаруженный дисбаланс энергий говорит о большой сложности протекающих при ударе процессов. Объяснить физическую суть явления и обнаружить новое, неизвестное ранее свойство металла сумели авторы настоящей статьи. В начале 2001 года появилось много сообщений о боеприпасах из обедненного урана (U^{238} , остающегося после выделения из природной смеси изотопов U^{235} , делящегося материала для АЭС и атомного оружия), которые обладают "потрясающей эффективностью" за счет прожигающего действия. Сообщалось, что 120-мм снаряд с начальной скоростью около 1700 м/с пробивает навывлет один танк, а затем прожигает броню другого. Пробив броню, он извергает внутрь горящее облако мелких, как пыль, частиц. Количество сжигающей пыли достигает 20% от массы уранового снаряда. И во время Второй мировой войны Германия уже начала заменять вольфрам в своих бронебойных снарядах более технологичным ураном с температурой плавления $1400^{\circ}C$. Они практически не отличаются по массе ($18,95 \text{ г/см}^3$), но твердость урана ниже (2160 МПа). Скорость снарядов тогда была невысокой - 870-990 м/с, и никто не заметил преимущества воздействия урановых боеприпасов по сравнению с вольфрамовыми.

Не получил должного объяснения и эффект выделения энергии из метеоритов, который демонстрирует нам сама природа. Большинство метеоритов железные, как и артиллерийские снаряды. Их скорость у поверхности Земли составляет 700-4000 м/с. Если скорость невелика, около 700 м/с, то на месте падения метеорита образуется яма,

совпадающая с его контуром, а сам метеорит остается целым. Так было с 60-тонным метеоритом Гоба, найденным на юго-западе Африки в 1920 году.

Все эти факты позволяют заметить следующие закономерности. Во-первых, движение металлических тел в обоих случаях заканчивается ударом о твердую преграду. Во-вторых, если их скорость до удара была меньше некоторой величины, ничего особенного не происходило, но если больше, то при ударе либо выделялась лишняя теплота, либо тело взрывалось.

При теоретическом изучении макроскопических свойств вещества встречаются значительные трудности, обусловленные сложностью определения движения очень большого числа взаимодействующих частиц. Это приводит к необходимости применения приближенных методов. Одним из них является метод квазичастиц.

Представление о квазичастицах, как общем методе изучения энергетического спектра макроскопического тела, было введено Л.Д. Ландау в 1940-41 гг.

Каждое элементарное возбуждение движется в объеме тела как квазичастица, обладающая определенной энергией и определенным импульсом (или квазиимпульсом). Эти частицы получили название фононы. Энергия слабовозбужденного состояния макроскопического тела является суммой энергии квазичастиц:

$$E = \sum_{\vec{p}} \varepsilon(\vec{p}) n_{\vec{p}}$$

где $n_{\vec{p}}$ - число квазичастиц, имеющих импульс \vec{p} и энергию $\varepsilon(\vec{p})$.

В отличие от обычных частиц квазичастицы (фононы) не существуют вне макроскопических тел. Их существование связано с определенной структурой макроскопического тела. При исчезновении этой структуры (например, при фазовом переходе) исчезают и соответствующие ей квазичастицы. [4, стр. 62]

Если происходит фазовый скачок с упорядоченного состояния вещества в неупорядоченное, то энергия квазичастиц (фононов) трансформируется в тепловую энергию газа, образовавшегося в результате фазового перехода вышеупомянутого твердого тела.

При скачкообразном фазовом переходе происходит тепловой внешний выброс в окружающее пространство со скоростью распространения фононовых колебаний, которые намного превышают скорость столкновения, по сути своей представляет детонационный взрыв, последствия которого мы и наблюдаем на поверхности Луны.

Рассмотрев поверхность Луны, мы видим только радиальные кратеры, рис. 1а. А на рисунке 1 б представлена снимок поверхности астероида «Гаспра», переданный космическим зондом «Галилео» во время его пролёта мимо Гаспры в 1991 году (цвета усилены).

Такие кратеры по логике вещей могут оставлять тела, имеющие центростремительную траекторию сближения или впоследствии взрывного воздействия.

Так, твердое тело, находясь в относительно разряженной среде и получая локальное воздействие, представляет собой естественный резонатор внутренних упорядоченных фононовых колебаний, при столкновении происходит фазовый переход в неупорядоченное состояние, т.е. в тепло, взрывного характера.

На сегодняшний день свойства таких взаимодействий широко применяются в различных технологиях, построенных на эмпирических знаниях [2, стр. 7]. В частности, похожие явления мы наблюдаем в лазерных установках, где на резонансной частоте идет энергетическая накачка внешних электронных облаков для последующего фазового перехода с генерацией квантов в промежутке времени, меньшем, чем тот, за который происходила их энергетическая накачка, то есть мы имеем «как бы» энергетический эффект взрыва.

Если молекулы вещества одинаковы, то есть фаза, как говорят, однокомпонентна, то ее свойства определяются всего двумя термодинамическими параметрами, температурой T , характеризующей неупорядоченное движение, и стационарным давлением $p=const$ [3]. При переходе в упорядоченное изменение давления во времени $p=p_0*\cos(w*t)$ соответствующая энергия движения берется от теплового движения, осуществляется фазовая нестабильная трансформация. В результате тело становится холодным. Такая трансформация характерна для резко неоднородных сред с резонансной энергетической частотой накачки. Это может происходить с любым конденсированным материалом, находящимся долгое время в открытом космосе и подпитываемой внешней энергией на резонансной частоте (то есть одной из гармоник белого гауссовского шума). При внешнем соударении тело переходит в стабильную тепловую фазу за очень короткий промежуток времени (фазовый взрыв). Что мы и наблюдаем по остаточным следам радиальных кратеров на Луне и других ей подобных небесных тел.

Очень интересно рассмотреть динамику разрушения Чебаркульского метеорита (рис. 2, 3): пологая траектория вхождения в разреженную атмосферу вела к фазовому стабильному тепловому переходу. В результате система перешла в нестабильное состояние, приведшее к ее разрушению и освобождению энергии в виде светового импульса и ударной волны от разлета уцелевших фрагментов с более высокой степенью молекулярных связей. Вот почему мы наблюдали большое количество мелких металлоподобных фрагментов, выпавших с менее значительной скоростью относительно периода до взрывного эффекта. Данное торможение можно объяснить тем, что эпицентр цепной реакции зародился в передней части относительно движения данного объекта, что и послужило тормозным импульсом для уцелевших фрагментов.



а)



б).

Рис. 1 Следы взаимодействия конденсированных материалов в космосе
а– лунная поверхность; б– поверхность астероида (951) Гаспра



Рис.2 - Место падения осколка Челябинского метеорита

Форма проруби говорит о том, что возмущение было равномерное, а размер проруби эквивалентен 50 кг тротилового взрыва. Энергетически это соответствует массе и размеру извлеченного осколка, совершившего свободное падение с высоты 50 км. С нулевой скоростью относительно поверхности Земли в точке начала падения.



а) на фазе первой



б) на фазе второй

Рис.3 – Процесс атмосферного вхождения метеорита

По интенсивности светового излучения и ударных волн на первой фазе облачного образования можно судить, что максимум энергии выделился на высоте 50 км, где плотность атмосферы ничтожна.

Заключение. Кинетическая энергия взаимодействия метеорита с атмосферой не соответствует реально высвободившейся энергии на траектории активного разрушения. Рассмотрены общие свойства перехода материала в стабильное состояние, подразумевающее скачкообразное изменение упорядоченной потенциальной энергии в тепловую изотропную (аккумуляции потенциальной энергии путем резонанса и формы сброса энергии)

Список литературы: 1. В. В. Яворский "Энергия "из ниоткуда" "Наука и жизнь" №С10 2. О. В. Руденко· Ю. Н. Маков. Звуковой удар: от физики нелинейных волн до акустической экологии (обзор). Акустический журнал, 2021, Т. 67, № 1, стр. 3-30 3. Ф.М, Куни, Соросовский образовательный журнал, №1, 1996, стр. 108. 4. М.С. Свирский. Электронная теория вещества: Учебное пособие для студентов физ.-мат. фак. пед. ин-тов. – М.: Просвещение, 1980.- 288 с., ил.

СООТНОШЕНИЕ УПРОЧНЕНИЯ И РАЗУПРОЧНЕНИЯ ПРИ ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ СПЛАВА Zn–35%Al В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ

Скворцов А.И., Слюдова А.А. (ВятГУ, г. Киров, Россия)
Тел. +7 (8332) 74-24-90; E-mail: skvorcov@vyatsu.ru

Abstract: *The nature of the dependence of hardness on the degree of plastic deformation $HRH(\varepsilon)$ of the Zn–35%Al alloy depends on the initial structure before plastic deformation. This structure is formed due to the specified heat treatment modes. Two stages of deformation on the dependence of $HRH(\varepsilon)$ with the boundary between them $\varepsilon = 10\text{--}20\%$. The second stage of deformation for all states of the Zn–35%Al alloy is characterized only by softening. The nature of the first stage of deformation is determined by the ability to harden or soften the original structure before plastic deformation. For the first stage of deformation, the correspondence of the initial one is analyzed structures of the efficiency of the mechanisms of deformation by the effect on hardness. At the same time, the mechanism of intergranular slip-page, the mechanism due to intragranular concentration heterogeneity, and the dislocation mechanism are considered.*

Keywords: *Zn–35%Al alloy, plastic deformation, hardness, deformation stages, deformation mechanisms.*

Введение

Сплавы Al–Zn, богатые Zn, при определенном составе и обработке обладают повышенной демпфирующей способностью, сверхпластичностью, высокой жидкотекучестью при литье.

Выявлению закономерностей влияния степени пластической деформации на свойства сплавов Zn–Al по составу, близких к монотектоидному составу, посвящены работы [1–6]. В частности, в работе [3] показано, что увеличение степени пластической деформации монотектоидного сплава сопровождается, наряду с разупрочнением, повышением демпфирующей способности.

Цель работы – изучение влияния степени пластической деформации при комнатной температуре на процессы упрочнения и разупрочнения сплава Zn–35%Al, обладающего по сравнению с монотектоидным сплавом более высокими характеристиками прочности. Цель работы предполагает получение принципиально разной перед пластической деформацией исходной структуры за счет различных режимов предварительной термической обработки: 1) отжига при температуре, соответствующей высокотемпературной α' -области, 2) закалки из высокотемпературной α' -области, 3) закалки из высокотемпературной α' -области с последующим низкотемпературным старением, 4) закалки из высокотемпературной α' -области с последующим высокотемпературным старением.

Результаты исследования и их анализ

На рис. 1 представлены зависимости твердости от степени пластической деформации осадкой при комнатной температуре после закалки из высокотемпературной α' -области сплава Zn–35%Al в сравнении со сплавом, богатым Al, Al–37%Zn (% массовые, сплавы получены литьем в металлическую форму). Из рисунка видно, что твердость сплава Al–37%Zn повышается, а твердость сплава Zn–35%Al снижается с увеличением степени пластической деформации. Можно предположить о следующих структурных механизмах, проявляющихся в сплавах при увеличении степени пластической деформации. При разупрочнении сплава Zn–35%Al наибольший вклад в формирование твердости проявляет механизм, обусловленный зернограничным скольжением, а имен-

но, скольжением по границам зерен α - и β -фаз: сопротивление зернограницному скольжению уменьшается с увеличением степени пластической деформации. Существенный вклад в формирование твердости при разупрочнении сплава Zn–35%Al может проявлять и механизм, обусловленный внутризеренной концентрационной неоднородностью: жесткость каркаса этой неоднородности уменьшается с увеличением степени пластической деформации. При упрочнении сплава Al–37%Zn, матричной в котором является β -фаза, наибольший вклад в формирование твердости проявляет дислокационный механизм: увеличение степени пластической деформации сопровождается увеличением плотности дислокаций, сопровождающимся увеличением сопротивления их движению.

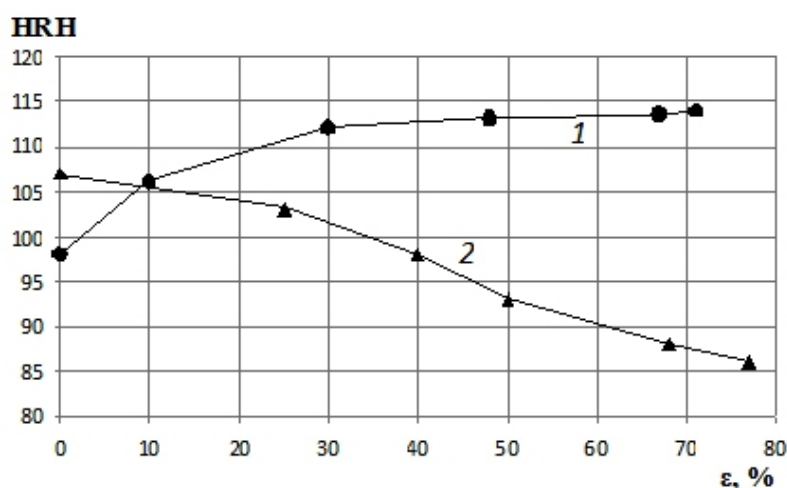


Рис. 1. Зависимость твердости от степени пластической деформации для сплавов Al–37%Zn (1) и Zn–35%Al (2), предварительно закаленных от 370 °С

Из рис. 1 (график 2) и рис. 2 видно, что на первой стадии деформирования (при степени деформации до 10 – 20 %, конкретное значение границы между первой и второй стадиями зависит от режима предварительной термической обработки) различным режимам предварительной термической обработки сплава Zn–35%Al, то есть различным исходным структурам, соответствует разный характер зависимости HRH(ε): горизонтальный – после отжига, нисходящий – после закалки, после закалки и низкотемпературного старения (при 100 °С), восходящий – после закалки и высокотемпературного старения (при 260 °С). На второй стадии деформирования (при степени деформации более 10 – 20 %) характер зависимости твердости от степени деформации при всех режимах предварительной термической обработки одинаков – нисходящий. На основании анализа литературных данных можно предположить, что в данном случае имеет место следующее соответствие исходной структуры с зависимостью твердости от степени пластической деформации. Отожженному сплаву характерна пластинчатая структура монотектоида [7]. Поэтому форма графика зависимости твердости от степени деформации, переходящая из горизонтальной в нисходящую, соответствует наличию в сплаве Zn–35%Al перед деформацией пластинчатого монотектоида. Закаленным, закаленным и состаренным сплавам, богатым Zn, характерна компактно-зеренная структура [1, 8]. При этом повышение температуры старения ведет к укрупнению зерна, например, для монотектоидного сплава при повышении температуры старения до 100 °С – к относительно небольшому укрупнению – примерно в 1,2 раза, а при повышении температуры старения до 250 °С к более существенному укрупнению – примерно в 3 раза. Поэтому только нисходящая форма графика зависимости твердости от степени дефор-

магии характерна для сплава Zn–35%Al с исходно мелкозернистой структурой, то есть после закалки (рис. 1), после закалки и низкотемпературного старения (рис. 2). Укрупнение зерна при повышении температуры старения до 260 °С дает форму графика зависимости твердости от степени деформации с максимумом (рис. 2). То есть сплаву Zn–35%Al с укрупненным зерном свойственно чередование процессов упрочнения и разупрочнения при увеличении степени пластической деформации. Сравнение механизмов упрочнения-разупрочнения при деформации, соответствующих состояниям сплава после низко- и высокотемпературного старения, позволяет предположить следующее. Процесс разупрочнения протекает более интенсивно в сплаве с более мелким зерном (после старения при 100 °С) по причине более эффективной работы механизма межзеренного скольжения, механизма, обусловленного внутризеренной концентрационной неоднородностью. В более крупнозернистом сплаве (после старения при 260 °С) на первой стадии деформирования эти механизмы менее эффективны по влиянию на твердость по сравнению с дислокационным механизмом. Отожженному состоянию на первой стадии деформирования соответствует примерно равная эффективность работы механизма межзеренного скольжения и дислокационного механизма по влиянию на твердость.

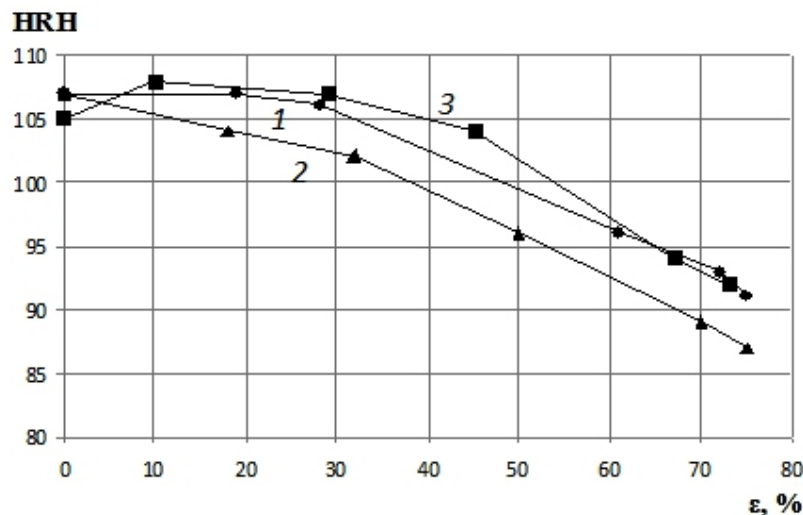


Рис. 2. Зависимость твердости от степени пластической деформации сплава ЦА35, предварительно отожженного при 370 °С (1), состаренного при 100 °С после закалки от 370 °С (2), состаренного при 260 °С после закалки от 370 °С (3)

Выводы

1. Характер зависимости $HRH(\epsilon)$ сплава Zn–35%Al определяется исходной перед пластической деформацией структурой, которая формируется за счет заданных режимов термической обработки.

2. Выделены две стадии деформирования на зависимости $HRH(\epsilon)$ с границей между ними $\epsilon = 10\text{--}20\%$. Конкретное значение границы зависит от режима предварительной термической обработки.

3. Второй стадии деформирования для всех состояний сплава Zn–35%Al свойственно только разупрочнение.

4. Характер первой стадии деформирования определяется способностью исходной перед пластической деформацией структуры к упрочнению или разупрочнению. На основании анализа литературных данных относительно первой стадии деформирования предположено следующее. Нисходящая форма зависимости $HRH(\epsilon)$ после закалки, за-

калки и низкотемпературного старения обусловлена исходно мелкозернистой структурой, которой соответствует в качестве преобладающих механизм межзеренного скольжения и механизм, обусловленный внутризеренной концентрационной неоднородностью. Форма зависимости $HRH(\epsilon)$ с максимумом после закалки и высокотемпературного старения обусловлена исходно более крупнозернистой структурой, которой соответствует в качестве преобладающего дислокационный механизм. Отожженному состоянию со структурой, содержащей пластинчатый монотектоид, на первой стадии деформирования соответствует примерно равная эффективность по влиянию на твердость механизма межзеренного скольжения и дислокационного механизма.

Список литературы: 1. Tagamaï M., Ohtani T., Usami T. Effects of heat treatment, contents of Cu and Mg, and rolling reduction on the damping capacity and mechanical properties of Zn–Al alloy // J. Japan Institute Light Metals. 1988. V. 38. P. 107–113. 2. Скворцов А.И. Влияние легирования, термической обработки и деформации на структуру и свойства демпфирующих Zn–Al-сплавов // Металловедение и термическая обработка металлов. 1996. № 9. С. 27–29. 3. Скворцов А.И., Веселов Н.Н., Скворцов А.А., Обухова Ю.Б. Зависимость свойств и кристаллической структуры сплава Zn–23%Al от степени пластической деформации // Деформация и разрушение материалов. 2013. № 7. С. 22–25. 4. Скворцов А.И., Толстобров А.К. Закономерности влияния различных режимов термической обработки на характер зависимости твердость – степень пластической деформации сплава ЦА23 // Технология металлов. 2015. № 1. С. 18–21. 5. Скворцов А.И., Ведерников Я.Д., Сергеева А.В., Слюдова А.А. Влияние пластической деформации на твердость и микроструктуру демпфирующего отожженного сплава ЦА15 // Технология металлов. 2017, № 12. С. 36–39. 6. Скворцов А.И., Ведерников Я.Д., Сергеева А.В., Слюдова А.А. Структура и твердость сплава Zn–15%Al в зависимости от степени пластической деформации и вида предварительной термической обработки // Вестник Тамбовского университета. Серия Естественные и технические науки. – Тамбов: 2018. Т. 23, № 123. С. 256–260. 7. Скворцов А.И. Демпфирующие и механические свойства сплавов цинк–алюминий // Известия вузов. Цветная металлургия. 1991. № 1. С. 118–122. 8. Скворцов А.И. Создание высокодемпфирующих сплавов железа, цинк–алюминий и основ технологии их термической обработки: Автореф. дисс. на соиск. уч. ст. д-ра техн. наук. Екатеринбург: УГТУ, 1995. 38 с.

ОБЕСПЕЧЕНИЕ КАЧЕСТВА ИСПОЛНИТЕЛЬНЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ КОРПУСОВ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ НАСОСОВ

Соколов Д.Д., Семенов А.Н. (РГАТУ имени П. А. Соловьева, г. Рыбинск,
Россия)

Тел.: +7 905 132 6388; E-mail: zdxlw@mail.ru, semenov.an@mail.ru

Abstract: *The article is devoted to the actual problem of increasing the accuracy of processing the main holes of the body parts of hydraulic pumps. It analyzes the complexities of machining deep holes. The errors that are obtained when processing deep holes are given. It also tells about the difficulty of processing titanium, from which piston pump casings are made.*

Key words: *technology, quality, accuracy, pump, deep holes.*

Целью исследования является разработка способов повышения точности главных отверстий корпусов гидравлических насосов. Для достижения этой цели нужно решить ряд задач.

1). Проанализировать технологии обработки главных отверстий корпусных деталей с выявлением возникающих проблем.

2). Изучить возможные методы решения возможных проблем.

3). Разработать технологию обеспечения необходимого качества обработки.

Проблема недостаточной точности изделий машиностроения существенно влияет на конкурентоспособность отечественной продукции, что актуально в нынешней политической и экономической ситуации. Поршневые насосы используются в системах водоснабжения, в пищевой и химической промышленности, а также на объектах гражданского и военного назначения для откачки жидкости за пределы объекта, в котором установлен такой насос. Корпус поршневого насоса представляет собой параллелепипед сложной формы с множеством отверстий разного назначения - присоединительных, крепежных, исполнительных.

Исполнительные – главные отверстия предназначены для организации возвратно – поступательных ходов поршней. Работа поршней при эксплуатации насоса определяет долговечность и безопасность объекта, где установлен насос. Очевидно, что требования к точности главных отверстий корпуса насоса предъявляются высокие. Для получения необходимой точности нужна заготовка из качественного материала, правильный подбор оборудования, оснастки, инструмента, технологии обработки и способа термической обработки.

В первую очередь на качество обработки влияет правильный выбор технологических баз, т.к. большинство ошибок при обработке происходит из-за несоблюдения принципов базирования. На первой операции используются черновые базы – необработанные поверхности. Обработанные на первой операции поверхности будут служить чистовыми базами при последующей обработке.

Обработка главных отверстий корпусных деталей ответственного назначения является сложной технологической задачей, поскольку параметры данных отверстий определяют качественные характеристики насосов. В зависимости от требований к ответственности и точности для обработки отверстий корпусных деталей могут применяться операции сверления, фрезерования, растачивания, зенкерования, развертывания, хонингования [1]. Основными характеристиками главных отверстий являются диаметр, глубина и качество поверхности. Качество и точность поверхности оказывают влияние на выбор режимов резания. Жесткость технологической системы,

свойства обрабатываемого материала оказывают влияние при выборе инструментального материала и геометрии инструмента. В корпусных деталях также важную роль играет взаимное расположение отверстий относительно друг друга или базы. Этот параметр влияет на выбор оборудования и технологической оснастки [2].

Обработка глубоких отверстий сопровождается образованием ряда погрешностей, которые разделяют на несколько групп по природе их возникновения [3]. В первую группу входят погрешности точности и расположения осей глубокого отверстия: увод и не прямолинейность осей (рис. 1, б, в). Увод оси отверстия определяют как отклонение действительной оси полученного отверстия от оси номинального расположения. Отклонение от прямолинейности оси – это наибольшее расстояние от действительной оси до теоретической оси отверстия, то есть прямой, соединяющей центры отверстий на концах детали [4].

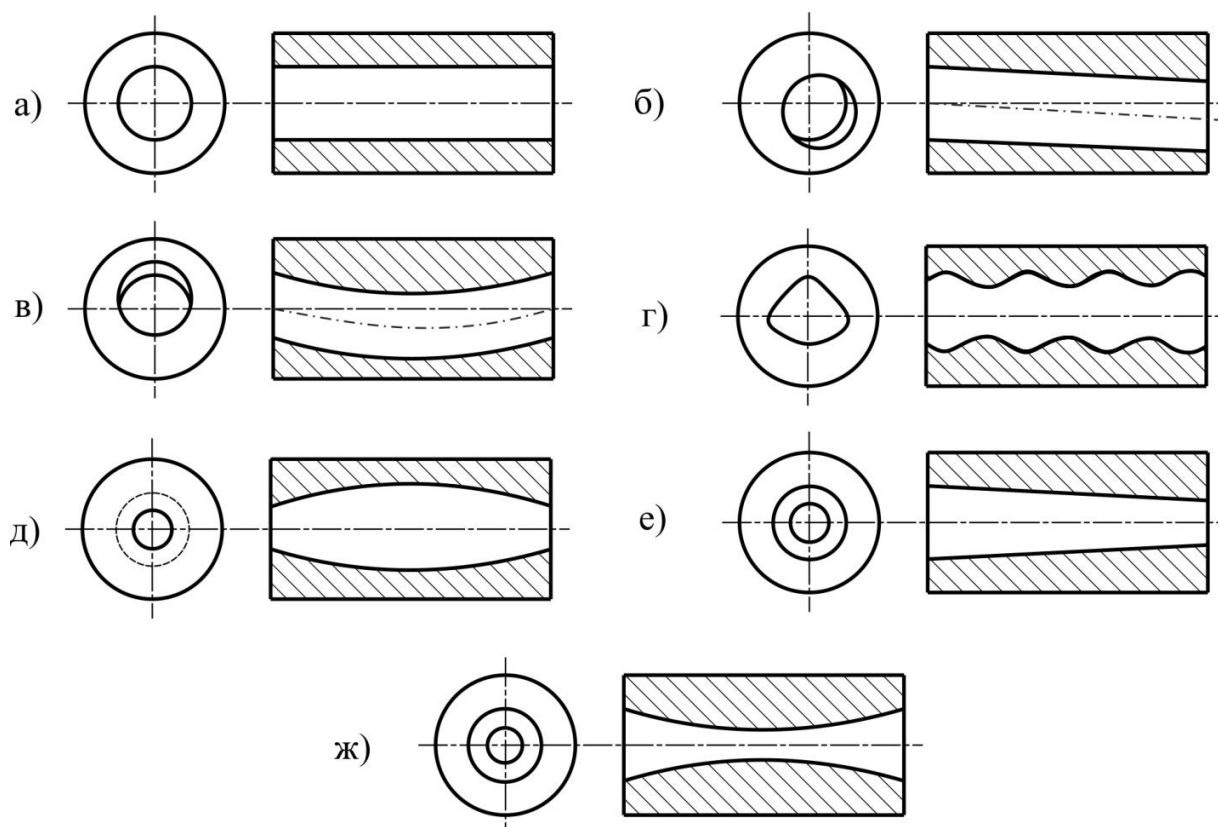


Рис. 1. Возможные профили главных отверстий в корпусных деталях:
а – правильно обработанное отверстие; б – увод оси отверстия; в – отклонение от прямолинейности оси отверстия, вызванное уводом оси; г – огранка по длине отверстия (спиральность); д – бочкообразность продольного профиля; е – конусообразность продольного профиля; ж – седлообразность продольного профиля

Наибольшее влияние на образование увода и отклонения от прямолинейности оказывают: погрешность базирования инструмента; копирование расточным инструментом погрешности расположения оси отверстия заготовки, вибрации заготовки из-за её деформации при установке, коробление, прогиб заготовки между люнетами, неравномерность твердости. В качестве основной причины возникновения указанных погрешностей выделяют появление неуравновешенной составляющей радиальной силы резания при несовпадении оси инструмента с осью исходного отверстия. Также, причиной возникновения увода считают погрешность заходного

участка, которая приводит к несоосности оси инструмента и отверстия в процессе растачивания.

К другой группе относят погрешности формы, возникающие в поперечном сечении отверстия, наиболее характерной из которых при растачивании глубокого отверстия является отклонение от круглости поперечного профиля отверстия в виде огранки (рис. 1, г). Ее выделяют как вид отклонения от круглости, при котором поперечный профиль глубокого отверстия представляет собой многогранную фигуру с числом граней, иногда изменяющимся по длине отверстия. Такой дефект является разновидностью винтовой огранки (рис. 2). Образование винтовой огранки является следствием поперечных автоколебаний расточной головки.

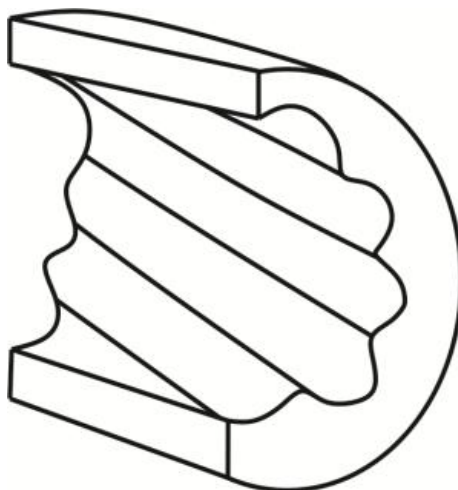


Рис. 2. Волнообразная огранка или спиральность продольного профиля отверстия

К отдельной группе отнесены погрешности формы продольного профиля отверстия: конусообразность, бочкообразность, седлообразность (рис. 1, д, е, ж). Погрешности бочкообразность и седлообразность наиболее характерны для процесса глубокого растачивания нежестких заготовок. Следовательно, эти погрешности маловероятны в процессе изготовления корпуса поршневого насоса. Причины образования бочкообразности и седлообразности недостаточно исследованы, встречаются предположения, что бочкообразность является следствием погрешности базирования заготовки и обработки заходного участка.

В качестве общей причины возникновения описанных погрешностей выделяют наличие смещения оси инструмента относительно теоретической оси отверстия. В результате анализа погрешностей, возникающих при глубоком растачивании отверстий, и причин их образования, установлено, что характерными для обработки главных отверстий гидравлических насосов являются погрешности оси и формы профилей глубокого отверстия.

Еще одной причиной снижения точности является отсутствие учета свойств материала, из которого изготавливаются корпуса насосов. Материал для корпуса насоса выбирается из соображений прочности и коррозионной стойкости. В насосах для пресной воды наиболее распространенными материалами являются чугун или углеродистая сталь. Для корпусов высоконапорных питательных насосов применяют пятипроцентную хромистую сталь. Эта сталь обладает повышенной по отношению к углеродистой стали коррозионной стойкостью. Для защиты стыковых поверхностей от эрозии металла в случае образования щелей на корпусе наплавляют нержавеющую

сталь с последующей термообработкой. В насосах для морской воды корпус по соображениям защиты от коррозии делают из бронзы [5]. Помимо перечисленных материалов, встречаются нередко и титановые сплавы. Насосы с такими корпусами используются на химических предприятиях.

Известно, что титан и сплавы на его основе трудно обрабатываются. В большинстве случаев инструмент быстро изнашивается, вследствие чего качество обработки снижается. Это непосредственно определяется следующими факторами:

- высокая вязкость сплавов способствует значительному повышению температуры в зоне резания и вызывает наростообразование на поверхности режущих инструментов, снижая ресурс его работы;
- мелкодисперсная пыль, образующаяся во время обработки, может детонировать, что требует особой осторожности и соблюдения мер безопасности;
- для резания титана требуется специальное оборудование, обеспечивающее необходимый режим резания;
- низкая теплопроводность, что требует применения для процесса резания специально подобранных режущих инструментов.

Для достижения заданной точности и качества поверхности процесс обработки разделяется на операции предварительной, промежуточной и основной обработки. Практика показывает, что на параметры точности могут оказывать влияние вибрации при обработке заготовок и высокий уровень температуры в зоне резания, который может достигать 850 – 1100°C. Установлено, что эффективность процесса обработки титановых сплавов в значительной степени зависит от жесткости применяемого оборудования и конструкций режущего инструмента. В связи с этим для проведения экспериментов использовали монолитный и сборный твердосплавный осевой инструмент [6].

Таким образом, зная существующие сложности на пути повышения точности, появляется возможность правильно подобрать оборудование, технологическую оснастку, режущий инструмент и этапы обработки, а также, обеспечить жесткость технологической системы и грамотно спроектировать техпроцесс.

Список литературы: 1. Эффективные технологические решения. [Электронный ресурс] URL:[http:// www.sandvik.coromant. com/ SiteCollection Documents/ downloads/global/brochures/ru-ru/ C-2940-131.pdf](http://www.sandvik.coromant.com/SiteCollection/Documents/downloads/global/brochures/ru-ru/C-2940-131.pdf). **2.** Руководство по обработке отверстий. Sandvik Coromant. Швеция, типография Sandvikens Tryckeri, 2006, 240 с. **3.** Троицкий Н. Д. Глубокое сверление. Л.: Машиностроение, 1971, 176 с. **4.** Уткин Н. Ф., Кижняев Ю.Н., Плужников С.К. Обработка глубоких отверстий. Л.: Машиностроение, 1988, 269 с. **5.** Официальный сайт ведущего русскоязычного ресурса по производственной тематике. [Электронный ресурс]URL: [https:// www. nektonnasos. ru/article/ustrojstvo/ korpus-nasosa](https://www.nektonnasos.ru/article/ustrojstvo/korpus-nasosa). **6.** SIGMA-TEST.RU [Электронный ресурс]. URL: <http://www.sigma-test.ru/publitsistic/titan/40/index.shtml>.

МЕТОДИКА РАСЧЕТА ГИДРАВЛИЧЕСКОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ СЛОЯ ИЗМЕЛЬЧЕННЫХ ОТХОДОВ ПРИ ИХ ШНЕКОВОМ ТРАНСПОРТИРОВАНИИ В УСТАНОВКЕ ПРОИЗВОДСТВА АКТИВИРОВАННОГО УГЛЯ

Сотников В.Г., Мифтахов Р.А., Ланкин К. А., Ильясов И.Р.,
Гурьянов Д.А., Каримов И.Р. (КНИТУ, г. Казань, Россия)

Тел: +79270370333; E-mail: vcvcvc12345678@gmail.com

Abstract: It is shown that an increase in the diameter of the screw without changing the productivity significantly reduces the hydraulic resistance of the layer. The high efficiency of this constructive solution was revealed when designing screws of greater length. The influence of the angle of inclination of the screw conveyor has a significant effect on the hydraulic resistance as the length of the screw increases and the angle of inclination is more than 60° . Calculations are presented for modeling the dependence of the power of auger transportation on the angle of inclination of the auger, speed of movement, bulk density, friction coefficient and weight of raw materials. A refinement of the calculation was carried out taking into account the hydraulic resistance and the angle of inclination of the propeller blade. The discrepancy between the power values reached 30%.

Key words: activated carbon; pyrolysis; wood waste; convective drying; coal activation.

Непрерывно-действующая энерго-и ресурсосберегающая установка для производства активированного угля представлена на рис. 1 [1÷12].

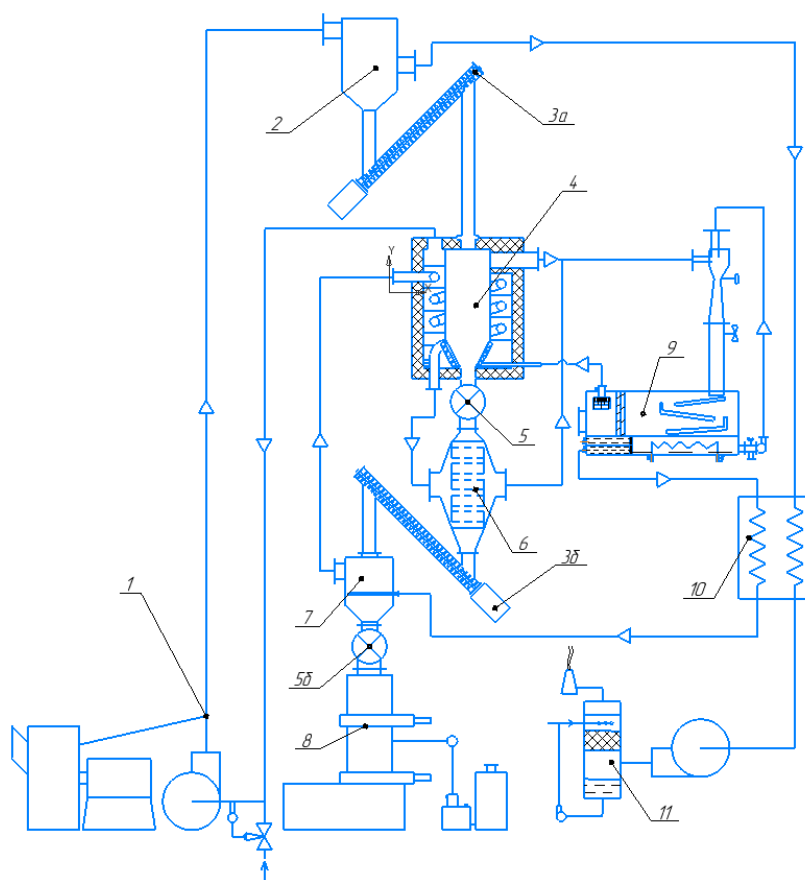


Рис. 1. Установка производства активированного угля.

Установка производства активированного угля включает зоны: подготовки отходов 1, сушки 2, пиролиза 4, активации 6, конвективного охлаждения 7, вакуумной сушки и охлаждения 8, эжекционной сепарации пиролизных газов 9, рекуперативного теплообмена 10, очистки газов 11. Известно, что кондуктивный пиролиз должен протекать без доступа кислорода к сырью. С этой целью в установку производства активированного угля перед зоной пиролиза и после зоны активации установлены шнековые транспортеры 3а и 3б которые при определенных углах наклона герметизируют камеру пиролиза, обеспечивая тем самым необходимые технологические режимы процесса кондуктивного пиролиза. Соединение зон пиролиза и активации, а также зон охлаждения происходят роторными затворами 5а и 5б [13÷24].

На рис. 2 представлен шнековый транспортер, установленный в рассматриваемой установке. Конструктивно он состоит из вала 1 на котором находятся лопасти 2, образуя винт, транспортирующий отходы. Винт находится внутри корпуса 3, с входным 4 и выходным 5 патрубками. Движение вала и лопастям задает привод 6.

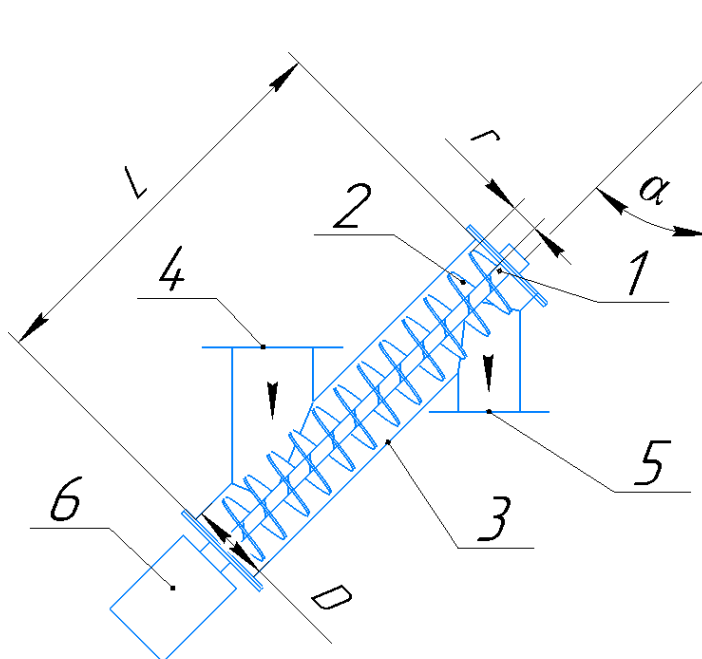


Рис. 2. Шнековый транспортер.

Геометрические параметры шнека такие как: длина вала L , радиус лопасти винта r и диаметр корпуса D задаются исходя из производительности по измельченным отходам. Производительность шнека можно задать по формуле [25]:

$$Q = 47D^2 t n \psi \rho C$$

где, D – диаметр шнека конвейера, м; t – шаг шнека конвейера, м; n – частота вращения шнека, об/мин; ψ – коэффициент заполнения поперечного сечения шнека конвейера, зависящий от вида перемещаемого материала; ρ – плотность транспортируемого продукта, т/м³; C – коэффициент поправки на угол наклона шнека α .

Применение данной формулы для расчета мощности часто дает неточные значения.

Более точные расчёты шнека может дать моделирование винтового транспортирования с учетом гидравлического сопротивления слоя материала.

Исходными данными для разрабатываемой математической модели будут: объемная производительность по сухим отходам Q , м³/ч, угол наклона кожуха шнека α , °, тип частицы, порозность слоя ε .

При наклонном транспортировании в слое сырья возникает гидравлическое сопротивление ΔP , которое можно найти по соотношению [26]:

$$\Delta P = \left(\frac{A}{\frac{\omega_{ш} d_3 \rho}{\mu} + B} \right) \cdot 1,5 \rho \frac{(1 - \varepsilon)}{\varepsilon^3} \cdot \frac{L \alpha}{d} \cdot 0,5 \omega_{ш}^2$$

где, $\omega_{ш}$ - угловая скорость шнека; А и В коэффициенты взаимодействия потока и твердых частиц; μ - кинематическая вязкость, m^2/c ; d- эквивалентный диаметр частицы, м; d_3 - эквивалентный диаметр порового канала, м; Н- высота слоя, м.

Конструкция лопасти винта оказывает влияние на транспортирование сыпучих грузов, поэтому при расчётах также следует учитывать угол подъёма лопасти винта φ , который рассчитывается по выражению [26]:

$$\varphi = \arcsin \frac{\omega_{ш} \cdot tg \alpha}{\sqrt{(\omega_{ш} - \omega_{м})^2 + (\omega_{ш} \cdot tg \alpha)^2}}$$

где, $\omega_{м}$ - угловая скорость материала относительно шнека.

На рис. 3 представлена схема движения частицы по винту шнека, иллюстрирующая формулу угла подъема лопасти винта.

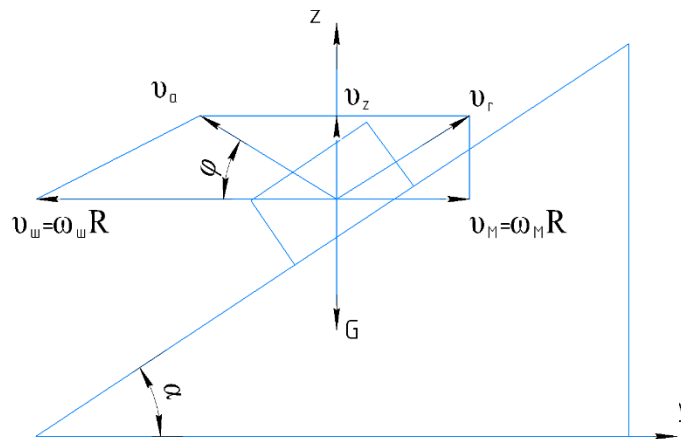


Рис. 3. Кинематическая схема движения частицы по винту шнека.

Видно, что абсолютная скорость v , полученная через составляющие: v_a ; v_z ; v_r образует угол φ с переносной скоростью $v_{ш}$, соответственно, чем больше угол φ , тем больше будет скорость транспортировки материала по винту.

Диаметр винта D задается по формуле:

$$D = 0,275 \frac{Q}{E n \varphi \rho R}$$

где, E- отношение шага винта к диаметру винта (для абразивных материалов 0,8; для неабразивных 1,0); n- частота вращения винта, об/мин; R-коэффициент уменьшения производительности в зависимости от наклона конвейера $R = \varphi/100$.

Энергоемкость шнекового транспортирования определяется его потребляемой мощностью N, которая рассчитывается по формуле [27÷28]:

$$N = \rho \cdot v_a \left(1 + f_{ш} \cdot ctg \alpha + \frac{r(\omega_{ш} - \omega_{м})^2 f_m}{g \sin \varphi} + \Delta P \right)$$

где, r- радиус лопасти винта, м; $f_{ш}$ - коэффициент трения материала; f_m - коэффициент трения материала о стенки шнека; v_a - абсолютная скорость перемещения материала.

Основной фактор при расчёте мощности — это насыпная плотность перемещаемого сырья, но существенное влияние также оказывают угол наклона винта, угол наклона лопасти винта и гидравлическое сопротивление сыпучего слоя в шнеке. Без учета этих критериев мощность будет недостаточной, вследствие чего возможны засорение шнека и дальнейший вывод из эксплуатации.

Список литературы: 1. Ю.Л. Юрьев, В.П. Орлов, С.А. Панюта, Т.В. Штеба// Проблемы аппаратного оформления процессов переработки измельченной древесины в активные угли//Лесной журнал.-2000.-№5-6.- С. 52-57. 2. Богданович Н.И. Адсорбенты из отходов лесопромышленных предприятий для решения экологических проблем (статья) / Изв. высш. уч. завед.. Лесной журнал, 1997, № 4, с.92-96. 3. Место активных углей в экологии и экономике, новые технологии их производства/ Мухин В.М., Курилкин А.А., Воропаева Н.Л., Лексюкова К.В., Учанов П.В. Сорбционные и хроматографические процессы 2016, том 16, №3, 346-353. 4. Р.Р.Зиатдинов, Т.О. Степанова, Д.Ф. Зиатдинова, Р.Г. Сафин, Д.А. Ахметова/ Конвективная сушка измельченной древесины перед термохимическим процессом переработки древесных материалов// Деревообрабатывающая промышленность 2019.-№1.- с.66-73. 5. Р.Р. Зиатдинов, Р.Г. Сафин, Т.О. Степанова, Д.Ф. Зиатдинова, Д.А. Ахметова, Н.М. Терехин/ Непрерывно действующая установка переработки древесных отходов в активированный уголь//Деревообрабатывающая промышленность.- 2019 г.- №4.- С. 90-98. 6. Н.Ф. Тимербаев, Р.Г. Сафин, Д.Ф. Зиатдинова, Т.О. Степанова/ Конвективная сушка дисперсных материалов Перед термохимическим процессом переработки// Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики, 2019. Т. 21. С. 29-37. 7. Р.Г. Сафин, Т.О. Степанова, Р.Р. Зиатдинов, Д.Г. Рябушкин, В. И. Петров, В.Г. Сотников/ Конструктивный расчет пиролизной зоны установки производства активированного угля// Деревообрабатывающая промышленность.- 2020 г. -№3.- С.45-55. 8. N.F. Timerbaev, R.G. Safin, I.Yu.Mazarov, T.O. Stepanova/ Thermochemical processing of organic waste IOP Conference Series: Materials Science and Engineering 643.-2019. 9. Safin, R.G., Prosvirnikov D.V., Stepanova T.O./ Processing of Renewable Wood Biomass into Thermally Modified Pellets with Increased Combustion Value//2020 Proceedings of the 5 th international Conference on Industrial Engineering: Lecture Notes in Mechanical Engineering 387. 10. Патент РФ № 2694347, 11.07.2019 МПК С 10 В 53/00. Способ получения активированного угля / Р.Г. Сафин [и др.] 11. Р.Г. Сафин, Р.Р. Зиатдинов, В.Г. Сотников, Д.Г. Рябушкин, Д.Р. Гумеров/ Моделирование процесса измельчения и транспортирования органических отходов в установке производства активированного угля/Системы. Методы. Технологии. -2021.- №2. 12. Р.Г. Сафин Технологические процессы и оборудование деревообрабатывающих производств: Учебник.- 4-е изд., испр. и перераб. – Санкт-Петербург: Лань,-2020.- 752 с.

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ НАСОСОВ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ГИДРОРАЗРЫВА ПЛАСТА

Степанова Е.А., Пожидаева Л.А.

(КамчатГТУ, г. Петропавловск-Камчатский, Россия)

Тел.: +7 4152 300927; E-mail: len_sta@rambler.ru; loroohka950@gmail.com

Abstract: *A comparative analysis of the types of pumps was performed. The advantages and disadvantages of each are given.*

Keywords: *oil and gas, pumping, hydraulic fracturing, pump.*

В последние годы большое внимание уделяется увеличению дебита скважин при добыче углеводородных полезных ископаемых. Наиболее полное извлечение углеводородных полезных ископаемых было и остается проблемой. Состояние нефтяной и газовой промышленности свидетельствует о необходимости улучшения технологии добычи нефти и газа. При этом извлекаемые запасы месторождений еще далеки от реального истощения.

Существует множество способов по добыче углеводородных полезных ископаемых при малом дебите скважины, один из самых популярных на данный момент гидроразрыв пласта (ГРП).

Технология ГРП на данный момент является одной из самых распространенных. Технология данного способа заключается в создании высоко проводимой трещины в целевом пласте под действием подаваемой в него под давлением жидкости для обеспечения притока добываемого флюида (природный газ, вода, конденсат, нефть или их смесь) к забою скважины. В настоящее время перспективным способом является ГРП.

Существующий способ добычи углеводородных полезных ископаемых позволяет включить снова в работу простаивающие скважины, на которых добыча уже невозможна и экономически невыгодна. Задачи, решаемые при гидроразрыве: создание трещины; удержание трещины в раскрытом состоянии; удаление жидкости разрыва; повышение продуктивности пласта.

При проведении добычи данным способом требуется использование большого объема водных ресурсов. Водные ресурсы в большей части используются для закачки жидкости в продуктивный пласт, для дальнейшего осуществления гидроразрыва пласта. Также водные ресурсы необходимы для нужд промысла. Для перекачки, перемещения жидкости на нефте- и газодобывающих месторождениях используются насосы разных видов.

На нефти и газопромыслах в данный момент чаще используются такие виды насосов: центробежные (рис. 1), шестеренные и поршневые. Проведем сравнительный анализ данных насосов.

Погружной многоступенчатый центробежный насос представляет собой набор большого числа ступеней — рабочих колес и направляющих аппаратов, заключенных в стальной корпус в виде трубы. Рабочие колеса и направляющие аппараты собираются на одном валу, который поддерживается осевой опорой. Рабочее колесо — основная рабочая часть насоса. Однако, чтобы привести его в движение необходимо подвести к нему крутящий момент от двигателя. Для этого используется жесткое соединение рабочего колеса и вала насоса. Вал насоса соединяется с рабочим валом двигателя. Это простая и надёжная конструкция, которая представляет один из наиболее удобных методов перекачивания и транспортировки различных жидкостных сред.

Особенность работы центробежного насоса заключается в том, что, когда внутри его корпуса отсутствует вода, он продолжает работать. Это холостое вращение

двигателя и рабочего колеса, при котором не происходит никакого перемещения жидкости. При этом происходит перегрев торцевых уплотнений, и они могут выйти из строя без охлаждения и смазки. Охлаждение и смазка происходят за счет перекачиваемой жидкости. Именно поэтому важно обеспечить стабильную подачу жидкости в корпус насоса.

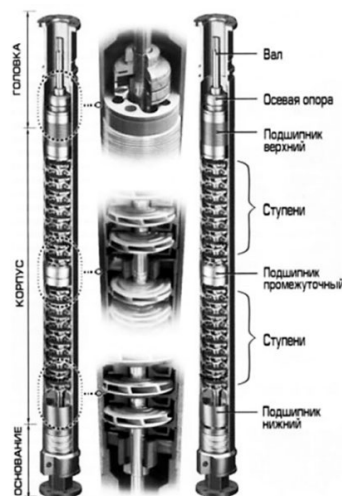


Рис.1. Центробежный насос

За это отвечает всасывающий патрубок. Вращение рабочего колеса насоса, создаёт разрежение на входном и повышенное давление на выходном участке трубопровода. Это обеспечивает перемещение жидкости. Именно поэтому важно следить за состоянием всасывающего патрубка. Если он загрязнён или повреждён, эффективность насоса снижается.

Внутри корпуса насоса может быть размещено одно или несколько рабочих колёс. Все они должны быть жёстко закреплены на валу.

Главные преимущества состоят в следующем: демократичная цена и доступность; облегчённость конструкции и долговечность; лёгкость установки и обслуживания; подача рабочей среды с большой высоты; способность перекачивать загрязнённые массы.

Среди недостатков стоит отметить: необходимость предварительной заливки жидкости перед эксплуатацией; малый КПД при перекачивании субстанций с большими показателями вязкости; снижение уровня КПД при небольшой подаче.

В шестеренном (или шестеренчатом) насосе (рис.2.) перекачивание жидкости осуществляется в камерах изменяемого объема, образуемых профилем шестерен. Ведомая шестеренка аппарата с наружным способом зацепления вращается при постоянном контакте с ведущей шестеренкой. При этом шестеренки вращаются в противоположные стороны, и в полости всасывания, в момент выхода зубьев из зацепления образуется вакуум. За счет образования вакуума жидкость попадает в полость всасывания, где постепенно перемещается в полость нагнетания, откуда выталкивается зубьями в нагнетательный трубопровод. При этом, контакт между зубьями шестеренок такой плотный, что делает обратный ток жидкости из камеры нагнетания в камеру всасывания невозможным.

Из преимуществ шестеренных насосов с внутренним зацеплением шестерен отмечают: имеет широкий выбор материалов изготовления (нержавейки, чугуна, углеродистой стали и дуплекса); перекачка жидких веществ осуществляется без пульсации; есть возможность регулирования зазора между корпусом и зубьями шестерен; высокие показатели надежности при достаточно низкой цене; очень просты в обслуживании.

Из существенных недостатков насосов с внутренним зацеплением отмечают наличие: внешней нагрузки на вал; ограничений по давлению; негативного влияния твердых веществ, которые могут попасть в насос вместе с перекачиваемой жидкостью.

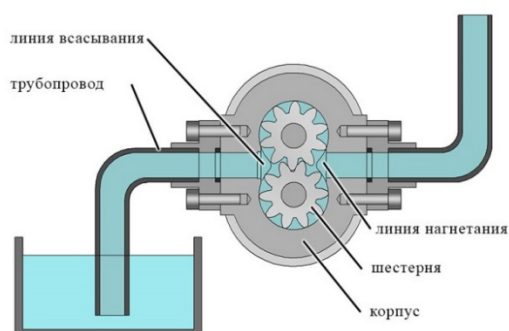


Рис.2. Шестеренный насос

Поршневые насосы (рис. 3) предназначены для перекачивания чистых жидкостей, и встречаются на большинстве современных производств. При запуске устройства поршень начинает совершать монотонные движения назад и вперед, тем самым создавая разрежение цилиндра. Внутри жидкости нарастает давление и наружный клапан плотно закрывается, не давая содержимому выйти наружу. Открывается другой клапан, уже внутри самого устройства, и жидкость под давлением попадает в трубопровод. Ценными достоинствами поршневых насосов является возможность подачи небольших количеств под высоким давлением, осуществление их пуска в ход без предварительной заливки всасывающего трубопровода и рабочего цилиндра перекачиваемой жидкостью. Также поршневые насосы обладают рядом существенных недостатков: громоздкость, большая металлоемкость и высокая стоимость; большая занимаемая площадь; наличие клапанов, требующих постоянного ухода и ремонта.

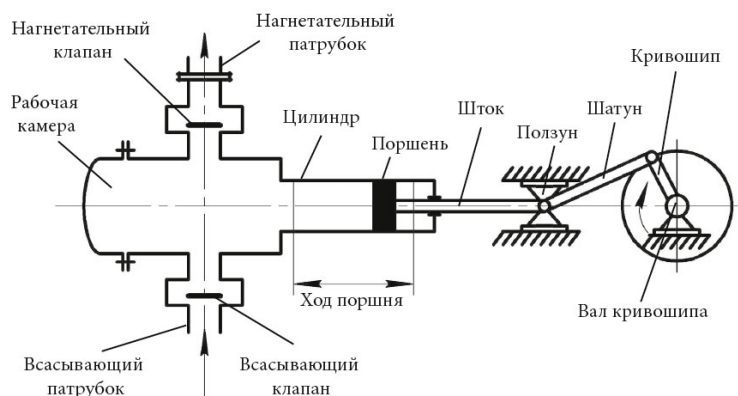


Рис.3. Поршневой насос

Таким образом мы можем сделать вывод, что самым выгодным будет использование центробежного насоса. Насос данного типа является относительно недорогим, не требует высоких затрат на обслуживание, а также может осуществлять подачу жидкости с большой высоты.

Список литературы: 1. Горная энциклопедия. – М.: Советская энциклопедия. Под редакцией Е. А. Козловского. 1984– 1991. 2. Каспарьянц К.С. Процессы и аппараты для объектов промышленной подготовки нефти и газа. – Москва: «Недра», 1977 г – 78 с. 3. Каспарьянц К.С. Процессы и аппараты для объектов промышленной подготовки нефти и газа. – Москва: «Недра», 1977 г – 78 с.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ПРОЦЕССА ФРЕЗЕРОВАНИЯ ЗАГОТОВОК ДЕТАЛЕЙ ИЗ ПОЛИКАРБОНАТА С НАЛОЖЕНИЕМ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ КОЛЕБАНИЙ

Унянин А.Н., Димухаметов И.З. (УлГТУ, г. Ульяновск, Россия)

Тел./Факс: +7 903 3205351; E-mail: a_un@mail.ru

Abstract: Regularities have been established for changing the parameters of the milling process, including forces and temperatures in the zones of contact between the chip and the tooth of the cutter and the tooth with the workpiece, depending on the time of contact between the tooth and the workpiece, including with the imposition of ultrasonic testing. It has been established that the use of ultrasonic testing makes it possible to reduce the cutting and friction forces, the power of heat sources and the temperature in the zone of contact of the tooth with the workpiece and with chips. The regularity of temperature distribution in the surface layer of the workpiece is revealed. A factor has been established that has a predominant effect on lowering temperatures.

Keywords: milling, modeling, polycarbonate, forces, temperatures, ultrasonic vibrations

Одним из перспективных конструкционных материалов является поликарбонат, который, благодаря своим свойствам (самый прочный среди прозрачных пластиков, имеет высокую степень прозрачности и пожаробезопасный), все более широко используется для изготовления деталей машин и приборов, в частности, панелей приборов летательных аппаратов, судов и др. Однако низкая теплопроводность поликарбоната является причиной малой интенсивности отвода теплоты из зоны механической обработки, а низкие температуры его разложения и плавления являются причиной появления тепловых дефектов обработанной поверхности. Поэтому после механической обработки заготовок из поликарбоната возможно изменение его оптических свойств, в том числе степени прозрачности.

Одним из средств повышения эффективности механической обработки является использование энергии ультразвуковых колебаний (УЗК), позволяющих снизить силовую и тепловую напряженности процессов. Температуры рабочих поверхностей инструмента оказывают существенное влияние на его работоспособность, качество обработанных поверхностей определяется температурой в поверхностных слоях заготовки.

Распространенным методом обработки, в том числе заготовок деталей из поликарбоната, является фрезерование цилиндрическими и концевыми фрезами. Однако влияние УЗК на параметры процесса фрезерования заготовок деталей из поликарбоната не установлено.

Для расчета технологических параметров процесса фрезерования, в том числе сил резания и трения и температур при обработке заготовок деталей из поликарбоната использованы физические и математические модели, методики и программное обеспечение [1, 2].

При перемещении зуба фрезы относительно обрабатываемой поверхности заготовки толщина срезаемого слоя изменяется в соответствии с зависимостью $a = S_z \cdot \sin \theta$, где S_z – подача на зуб фрезы, мм/зуб; θ – текущий угол контакта зуба фрезы с заготовкой, град. Вследствие этого на траектории контакта зуба с заготовкой изменяются и другие параметры процесса: коэффициент укорочения стружки, длина контакта стружки с заготовкой, сила резания и мощности источников тепловыделения.

При наложении УЗК в направлении, перпендикулярном обрабатываемой поверхности заготовки, толщина срезаемого слоя изменяется по закону

$$a_m = a + A_y \cdot \sin(2\pi \cdot f \cdot \tau + \varphi),$$

где A_y – амплитуда колебаний в направлении, перпендикулярном обрабатываемой поверхности, м; f – частота колебаний, Гц; φ – начальная фаза колебаний, рад.; τ – время контакта зуба с заготовкой, с.

Среднее по области пластической деформации напряжение текучести обрабатываемого материала (поликарбоната), соответствующее средней температуре T_d в этой области

$$\sigma_{St} = \sigma_S \left(1 - \frac{T_d}{T_{пл}} \right),$$

где σ_S – напряжение текучести поликарбоната при температуре 20 °С, Па; $T_{пл}$ – температура плавления поликарбоната, К.

Численное моделирование температурного поля выполнили при следующих условиях: встречное фрезерование заготовки фрезой, изготовленной из твердого сплава Т5К10 диаметром 20 мм и имеющей 5 зубьев, высоту профиля зубьев, равную 4 мм, и передний угол $\gamma = 10^\circ$ [3]; материал заготовки – поликарбонат, имеющий температуру размягчения 500 К, предел текучести 60 МПа, удельную теплоемкость 1200 Дж/(кг·К), теплопроводность 0,20 Вт/(м·К), плотность 1,20 г/см³ (при 20 °). Режим фрезерования: скорость резания – 8 м/с; глубина резания – 0,5 мм; подача на зуб фрезы – 0,12 мм.

Моделировали наложение УЗК частотой 18 600 Гц, амплитудой 10 мкм (в направлении, перпендикулярном обрабатываемой поверхности) с различными фазами колебания. При наложении УЗК значение фазы колебаний φ в начальный момент времени контакта зуба с заготовкой ($\tau = 0$) является случайной величиной. Моделирование производили при двух фазах – $\varphi = 0$ и π рад. (0 и 180 градусов). По данным [4, 5] при амплитуде УЗК свыше 5 мкм коэффициент трения уменьшается до 1,5 раз, а предел текучести материала заготовки уменьшается на 15%. Моделирование технологических параметров выполнили для случая, когда под влиянием УЗК коэффициенты трения и предел текучести поликарбоната снижаются в 1,5 раза и на 15% соответственно. Чтобы выявить вклад этих факторов в изменение технологических параметров фрезерования, выполнили моделирование лишь при уменьшении предела текучести.

При вышеперечисленных условиях и режиме фрезерования длина траектории контакта зуба с заготовкой составила 3,175 мм, максимальное значение глубины внедрения зуба в заготовку – 37,7 мкм, длина контакта стружки с передней поверхностью зуба – 121 мкм.

При фрезеровании с УЗК средние температуры в зонах контакта зуба с заготовкой, со стружкой и на вершине зуба оказались ниже, чем при фрезеровании без УЗК, на 12, 13 и 15% соответственно (табл. 1).

При фрезеровании без применения УЗК с увеличением времени τ контакта зуба с заготовкой глубина внедрения зуба в заготовку a_m и длина контакта стружки с передней поверхностью зуба l_1 увеличиваются. Температура деформируемого слоя материала заготовки T_d также несколько увеличивается – от 324 К до 335 К в момент времени $\tau = 31,2 \cdot 10^{-5}$ с (табл. 2 – 4). В момент времени $\tau = 37,6 \cdot 10^{-5}$ с температура T_d снижается до 299 К, поскольку зуб вступает в контакт с непрогретым слоем материала заготовки. Поэтому с увеличением τ значение предела текучести материала заготовки снижается до 54,9 МПа до момента времени $\tau = 31,2 \cdot 10^{-5}$ с, затем вновь увеличивается до 59,2 МПа при $\tau = 37,6 \cdot 10^{-5}$ с. На силу трения F_1 и силу резания P_z преобладающее влияние оказывают параметры a_m и l_1 , [6], поэтому с увеличением τ эти силы значительно увеличиваются (более, чем в 10 раз). Сила трения F_2 изменяется незначительно.

1. Температуры, средние для различных моментов времени контакта зуба с заготовкой

Способ фрезерования	Средняя температура в зоне контакта зуба с заготовкой T_2 , К	Средняя температура в зоне контакта стружки с передней поверхностью зуба T_1 , К	Температура на вершине зуба фрезы T_E , К	Температура заготовки T_3 , К на расстоянии 20 мкм от обрабатываемой поверхности
без применения УЗК	457	427	514	296,5
с УЗК; $\sigma_s = 50$ МПа; коэффициенты трения $\mu = \mu_1 = \mu_2 = 0,3$	431	406	479	295,8
с УЗК; $\sigma_s = 50$ МПа; $\mu = \mu_1 = \mu_2 = 0,2$	400	372	438	295,3

Мощности источников тепловыделения W_g , W_1 и W_2 изменяются с увеличением времени контакта аналогично изменению сил P_z , F_1 и F_2 соответственно, которые и обуславливают изменение этих мощностей. Мощности W_g и W_1 увеличиваются с увеличением времени контакта в десятки раз. Значение W_2 незначительно снижается до момента времени $\tau = 31,2 \cdot 10^{-5}$ с, затем вновь увеличивается в момент $\tau = 37,6 \cdot 10^{-5}$ с.

Значения всех плотностей источников тепловыделения снижаются до момента времени $\tau = 31,2 \cdot 10^{-5}$ с и увеличиваются при $\tau = 37,6 \cdot 10^{-5}$ с, причем изменяются с увеличением времени незначительно. Незначительное увеличение плотностей источников объясняется тем, что с увеличением τ увеличиваются не только мощности, но и площади источников тепловыделения (вследствие увеличения параметров a_m и l_1).

Предел прочности поликарбоната примерно в десять раз ниже предела прочности большинства металлов, поэтому зафиксированы меньшие силы резания и трения, мощности и плотности источников тепловыделения, чем при обработке заготовок из металлов [1, 2].

Температуры в зонах контакта зуба с заготовкой и со стружкой, на вершине зуба и температура заготовки с увеличением времени также увеличиваются. В заготовках из поликарбоната, имеющего низкую теплопроводность (примерно на два порядка ниже, чем у металлов), температура не распространяется на значительную глубину. При обработке без УЗК максимальная температура на расстоянии 20 мкм от обрабатываемой поверхности составляет 301 К, т. е. температура выше в сравнении с начальной (293 К) на 8 градусов.

При использовании УЗК частотой 18 600 Гц период колебаний составляет $5,38 \cdot 10^{-5}$ с, что меньше, чем время контакта зуба с заготовкой примерно в 7 раз.

При фрезеровании с УЗК параметры a_m и l_1 зависят не только от времени, но и от фазы φ колебаний, причем в одинаковые моменты времени эти параметры могут быть как меньше, так и превышать соответствующие параметры при фрезеровании без УЗК. Средние значения параметров a_m и l_1 при обработке без и с применением УЗК практически не отличаются.

В табл. 2 – 4 представлены результаты моделирования, полученные лишь при уменьшении предела текучести поликарбоната при наложении УЗК; коэффициенты трения не отличались от соответствующих коэффициентов при отсутствии УЗК.

Предел текучести материала заготовки и температура деформируемого слоя материала заготовки изменяются с увеличением времени с такой же закономерностью, как и при обработке без УЗК, однако при использовании УЗК оба этих параметра несколько ниже.

2. Технологические параметры процесса фрезерования в различные моменты времени контакта зуба с заготовкой: числитель – без УЗК; знаменатель – с УЗК, $\varphi = 0^\circ$

Время контакта зуба с заготовкой t , с	Глубина внедрения зуба в заготовку a_m , мкм	Длина контакта стружки с передней поверхностью зуба l_1 , мкм	Сила трения стружки о переднюю поверхность зуба F_1 , Н	Сила трения зуба о заготовку F_2 , Н	Главная составляющая силы резания P_z , Н	Температура деформируемого слоя материала заготовки T_d , К
$0,8 \cdot 10^{-5}$	0,76/8,8	2,2/25,1	0,085/0,83	0,39/0,32	0,49/1,29	324/319
$4 \cdot 10^{-5}$	3,8/1·10 ⁻⁸	10,8/2,8·10 ⁻⁸	0,42/0,001	0,39/0,33	0,87/0,33	329/323
$8,8 \cdot 10^{-5}$	8,35/0,71	23,8/2,0	0,92/0,07	0,38/0,32	1,45/0,40	331/325
$18,4 \cdot 10^{-5}$	17,5/21,9	49,8/62,6	1,91/2,04	0,38/0,32	2,60/2,68	333/327
$31,2 \cdot 10^{-5}$	29,6/20,3	84,5/57,9	3,23/1,88	0,38/0,32	4,14/2,49	335/329
$37,6 \cdot 10^{-5}$	35,7/35,7	101,8/102,0	4,20/3,51	0,41/0,34	5,30/4,43	299/298
Среднее значение	16,0/14,6	45,5/41,6	1,92/1,39	0,38/0,32	2,48/1,94	325/320

Примечание: F_1, F_2, P_z – силы, приходящиеся на 1 мм высоты зуба фрезы

3. Технологические параметры процесса фрезерования в различные моменты времени контакта зуба с заготовкой: числитель – без УЗК; знаменатель – с УЗК, $\varphi = 0^\circ$

Время контакта зуба с заготовкой t , с	Предел текучести материала заготовки σ_{st} , МПа	Мощность источника тепловыделения, Вт			Плотность источника тепловыделения, Вт/м ²		
		в зоне деформирования W_g	в зоне контакта стружки с передней поверхностью зуба W_1	в зоне контакта зуба с заготовкой W_2	в зоне деформирования q_g	в зоне контакта стружки с передней поверхностью зуба q_1	в зоне контакта зуба с заготовкой q_2
$0,8 \cdot 10^{-5}$	56,2/47,4	0,64/3,35	0,34/3,32	3,12/2,63	2,77/2,34	3,81/3,22	7,55/6,36
$4 \cdot 10^{-5}$	55,7/47,0	2,2/0,005	1,62/0,004	3,09/2,61	2,74/2,31	3,78/3,19	7,48/6,31
$8,8 \cdot 10^{-5}$	55,4/46,8	4,8/0,34	3,69/0,26	3,07/2,6	2,74/2,31	3,76/3,18	7,44/6,28
$18,4 \cdot 10^{-5}$	55,2/46,6	10,1/10,73	7,67/8,15	3,06/2,6	2,74/2,32	3,74/3,16	7,41/6,26
$31,2 \cdot 10^{-5}$	54,9/46,4	17,1/9,87	12,9/7,50	3,04/2,6	2,74/2,31	3,72/3,15	7,37/6,23
$37,6 \cdot 10^{-5}$	59,2/49,7	22,3/18,7	16,8/14,10	3,28/2,74	2,96/2,48	4,02/3,36	7,95/6,64
Среднее значение	56,1/47,1	9,52/7,17	7,17/5,55	3,1/2,63	2,78/2,34	3,80/3,21	7,53/6,34

Закономерности изменения во времени силы трения F_1 , силы резания P_z и мощностей источников тепловыделения W_g и W_1 аналогичны тенденции изменения параметра a_m . Среднее для различных фаз значение этих параметров ниже, чем при обработке без УЗК: F_1 – на 16%; P_z – на 11%; W_g – на 11%; W_1 – на 9%.

Сила трения F_2 и мощность W_2 изменяются во времени таким же образом, как и при фрезеровании без УЗК, однако при использовании УЗК значения этих параметров ниже.

С такой же закономерностью, как и при обработке без УЗК, изменяются во времени и плотности источников тепловыделения, но значения этих параметров при обработке с УЗК ниже.

4. Температуры в различные моменты времени контакта зуба с заготовкой: числитель – без УЗК; знаменатель – с УЗК

Время контакта зуба с заготовкой τ , с	Средняя температура в зоне контакта зуба с заготовкой T_2 , К	Средняя температура в зоне контакта стружки с передней поверхностью зуба T_1 , К	Температура на вершине зуба фрезы T_E , К	Температура заготовки T_3 , К на расстоянии 20 мкм от обрабатываемой поверхности
$0,8 \cdot 10^{-5}$	373/360	347/338	452/426	294,6/294,2
$4 \cdot 10^{-5}$	434/411	389/374	499/466	294,6/204,2
$8,8 \cdot 10^{-5}$	464/437	421/400	517/482	294,7/294,3
$18,4 \cdot 10^{-5}$	482/453	453/428	529/492	294,9/294,4
$31,2 \cdot 10^{-5}$	490/459	473/447	535/498	299,1/297,8
$37,6 \cdot 10^{-5}$	501/468	484/454	550/508	301,0/299,6
Среднее значение	457/431	427/406	514/479	296,5/295,8

Сила трения F_1 , сила резания P_z и мощности W_g и W_1 при различных фазах колебаний – 0 и 180 градусов, имеют различные значения; параметры F_2 , W_2 и плотности источников тепловыделения зависят от фазы в малой степени (в табл. 2 и 3 приведены значения параметров при начальной фазе колебаний $\varphi = 0^\circ$).

При фрезеровании с УЗК температуры увеличиваются с увеличением τ и не зависят от фазы колебаний. Значения температур T_1 , T_2 и T_E на 5, 6 и 7% ниже, чем при обработке без применения колебаний соответственно. Следовательно, за счет снижения предела текучести поликарбоната при наложении УЗК температуры снижаются в меньшей степени, чем за счет снижения коэффициентов трения. Температура в поверхностном слое заготовки на глубине 20 мкм снижается незначительно.

Выводы.

1. При фрезеровании с УЗК температуры в зонах контакта зуба с заготовкой, со стружкой и на вершине зуба оказались ниже, чем при фрезеровании без УЗК, на 12 ... 15% соответственно.

2. Уменьшение предела текучести материала заготовки за счет применения УЗК позволяет снизить контактные температуры – на 5 ... 7%, т. е. в меньшей степени, чем за счет снижения коэффициентов трения.

Список литературы: 1. Унянин, А.Н. Аналитическое исследование температурного поля при фрезеровании с наложением ультразвуковых колебаний / А.Н. Унянин // Вестник РГАТУ им. П.А. Соловьева. – 2017. – № 2 (41). – С. 220 – 235. 2. Резников, А.Н. Тепловые процессы в технологических системах / А.Н. Резников, Л.А. Резников. – М.: Машиностроение, 1990. – 288 с. 3. Справочник инструментальщика / И.А. Ординарцев, Г.В. Филиппов, А. Н. Шевченко и др. / Под общ. ред. И.А. Ординарцева. – Л.: Машиностроение, Ленинградское отделение, 1987. – 846 с. 4. Нерубай, М. С. Ультразвуковая механическая обработка и сборка / М. С. Нерубай, Б. Л. Штриков, В. В. Калашников. – Самара: Кн. изд-во, 1995. – 191 с. 5. Применение ультразвука и взрыва при обработке и сборке / М. Ф. Вологин, В. В. Калашников, М. С. Нерубай, Б. Л. Штриков. – М.: Машиностроение, 2002. – 264 с. 6. Воронцов, А.Л. Разработка новой теории резания. Практические расчеты параметров резания при точении / А.Л. Воронцов, Н.М. Султан-Заде, А.Ю. Албагачиев // Вестник машиностроения. – 2008. – № 9. – С. 67 – 70.

ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТЕЙ АЛЬТЕРНАТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ ДЕТАЛЕЙ ИЗ ЛИСТОВОГО МАТЕРИАЛА В МЕЛКОСЕРИЙНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

Хандожко А.В. Федонина С.О. (БГТУ, г. Брянск, ДНР, Россия)
Тел./Факс: + (4832) 588271; E-mail: chandosh@yandex.ru

Abstract: The efficient design of assembly machinery is vitally important description of functions of presented in the paper.

Для электротехнической промышленности, микроэлектроники, приборостроения характерно использование большого количества деталей из тонколистового материала. Как правило, толщина таких деталей не превышает 1 мм, максимальные габаритные размеры – до 50 мм. В большинстве случаев к деталям предъявляются достаточно высокие требования по точности размеров и правильности формы. Такие детали изготавливают из различных материалов: сталей, латуней, меди, никелевых сплавов.

Основным методом изготовления рассматриваемых деталей является штамповка в разделительных или комбинированных (разделительные операции в сочетании с гибкой, вытяжкой и т. п. обработкой).

Обработка ведется на прессах с использованием штампов высокой точности. В большинстве случаев зазоры в таких штампах малы, вплоть до режима беззазорной штамповки во избежание проблем с заусенцами и обеспечением требуемой точности. Обрабатываемые детали имеют высокую плотность формируемых поверхностей, рабочие детали штампов (пуансоны, матрицы), соответственно, нежесткие, склонные к хрупкому разрушению. Поэтому, обработку желательно проводить в режиме высокоскоростной штамповки на механических прессах. Все это обуславливает высокие требования к оснащению участков штамповки. Штампы при этом являются весьма сложным и дорогим инструментом. Такая технология характерна для крупносерийного и массового производства и может быть экономически оправданной лишь в таком производстве. В то же время сегодня весьма востребованы малые серии изделий, как для специальных изделий, так и для проведения опытно-конструкторских работ. Соответственно востребованы технологии для мелкосерийного и серийного производства.

Наиболее очевидными альтернативами штамповке являются лазерные и электрохимические технологии.

Имеется хороший опыт использования при изготовлении деталей малыми партиями (от сотен до десятков тысяч деталей) методами электрохимического фрезерования и лазерной резкой. В данной работе рассмотрены некоторые особенности изготовления на примере деталей электротехнической промышленности из меди (рисунок 2). Образцы имеют толщину от 0,5 до 1,0 мм, точность размеров в пределах 8-10 квалитета точности. Кроме того, рассматривались детали, полученные методом электрохимического фрезерования из латуни, толщиной 0,2 мм.

В качестве эталонных были приняты детали, изготовленные штамповкой и соответствующие по параметрам точности, локальным дефектам и внешнему виду требованиям чертежа.

Детали, после электрохимического фрезерования были изготовлены на специальном оборудовании с использованием методов фотохимической печати.

Методом лазерной резки были получены детали, обработанные импульсным лазером в режиме абляции (десорбции), когда частицы металла удалялись, минуя стадию плавления, в виде паров и (или) плазмы (мощность 20-50 Вт) и непрерывным лазерным излучением в режиме плавления с подачей кислорода (мощность до 500 Вт). В ряде

случаев, резание производилось в квазиимпульсном режиме. Скорости резания составляла от 6 до 9 м/с.

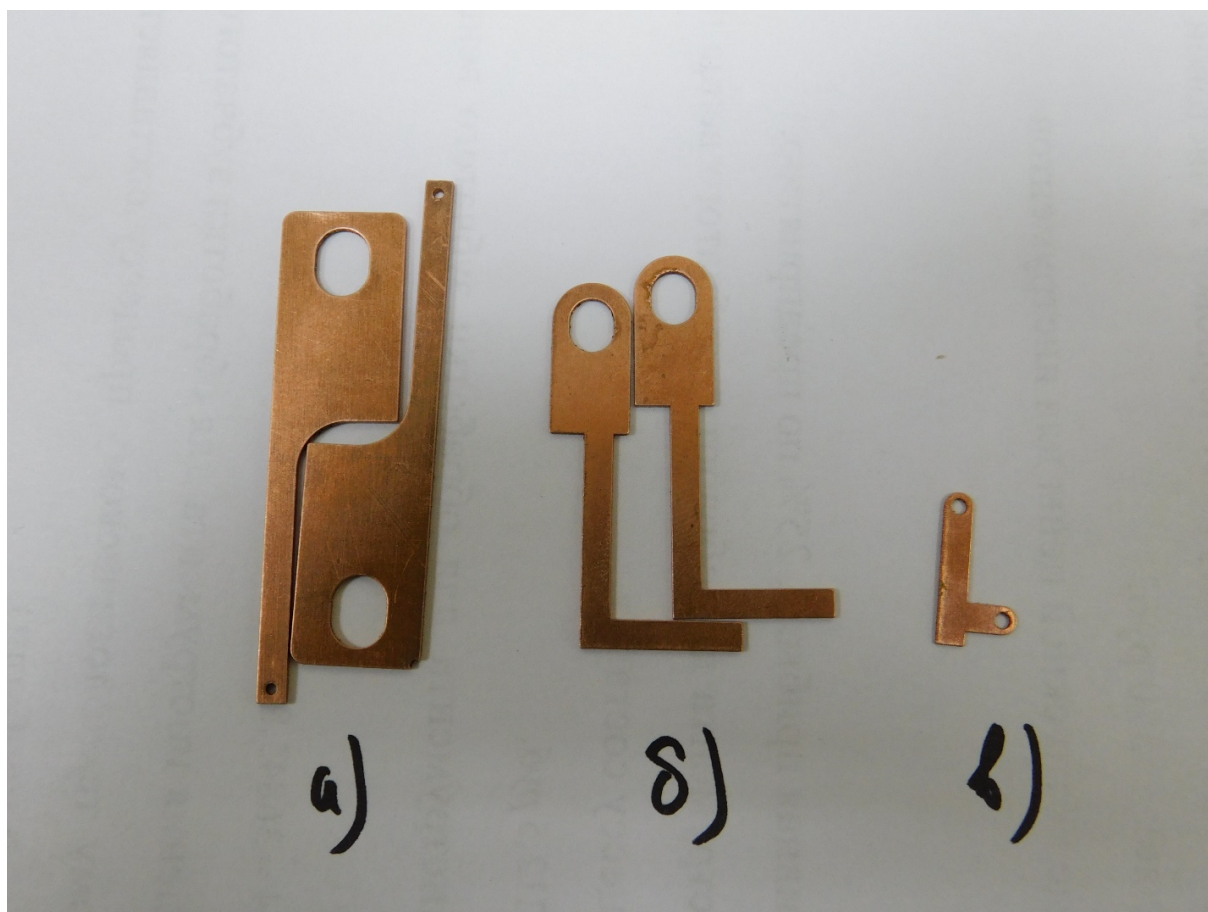

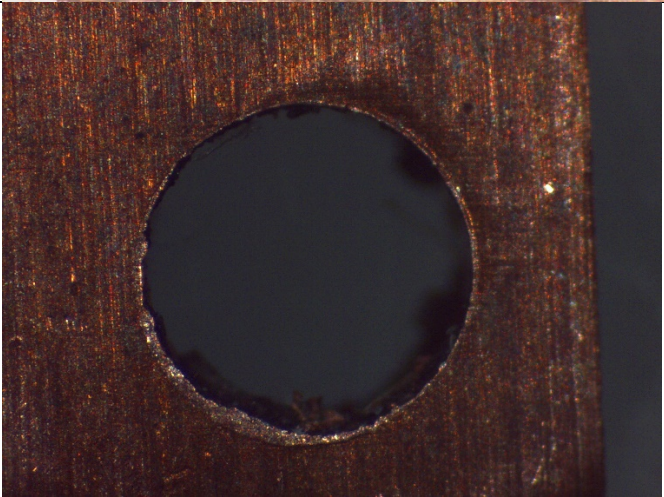
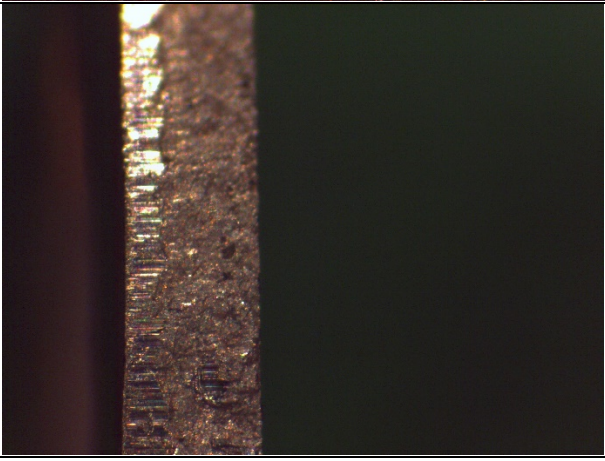


Рисунок 1. Примеры деталей, полученных листовой штамповкой и альтернативными технологиями

Характерные поверхности штампованных образцов показаны в таблице 1. Образцы, полученные штамповкой, имеют слабо выраженные утяжки со стороны внедрения пуансона и заусенцы на выходе пуансона. Дефекты незначительные по величине, высота утяжки и заусенца имеют толщину менее 10 мкм (табл.1). Поверхности образцов имеют правильную форму без выраженных отклонений, все отклонения от правильности формы находятся в пределах микрогеометрии. Наблюдаются небольшие заусенцы в отверстиях и по внешнему контуру.

Таблица 1. Внешний вид образцов после штамповки

№	Внешний вид штампованного образца	Пояснения
1		Плоскость образца, толщина 1 мм
2		Отверстие диаметром 1 мм в образце толщиной 1 мм
3		Горец образца толщиной 1 мм

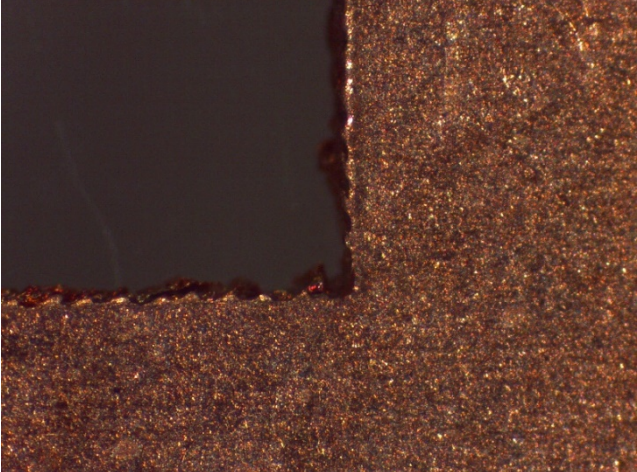
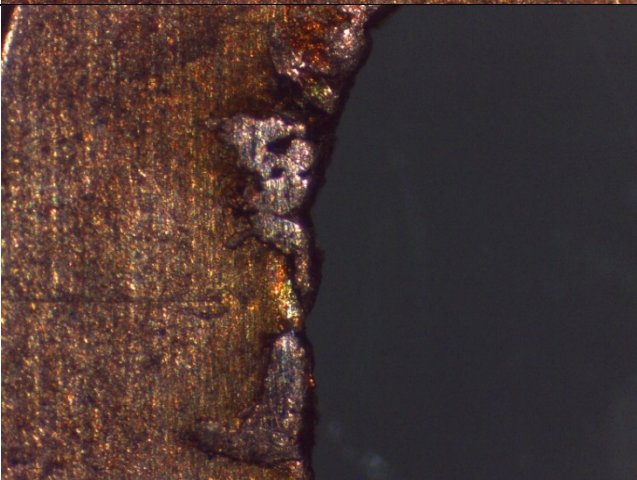
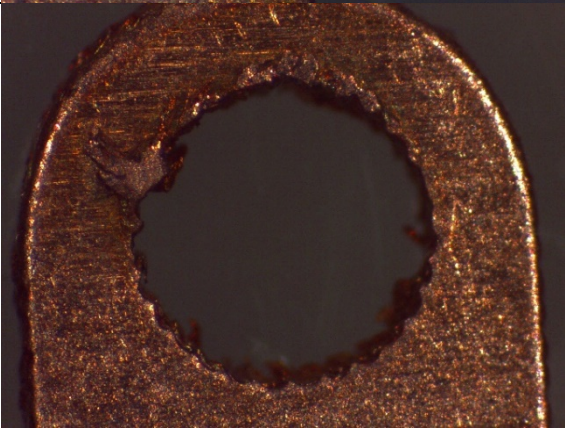
Анализ образцов, полученных электро-химическим фрезерованием, показал, что качество сформированных поверхностей не хуже, чем после штамповки. Процесс имеет некоторые особенности реализации, налагающие некоторые ограничения и дополнительные требования. В частности, удобнее работать с групповой заготовкой, содержащей несколько деталей, которые удерживаются в корпусе технологическими перемычками. Затраты на подготовку производства (временные и финансовые) электро-химического фрезерования существенно ниже по сравнению со штамповкой. В то же время использование фотопечати, состав оборудования, технологические приемы

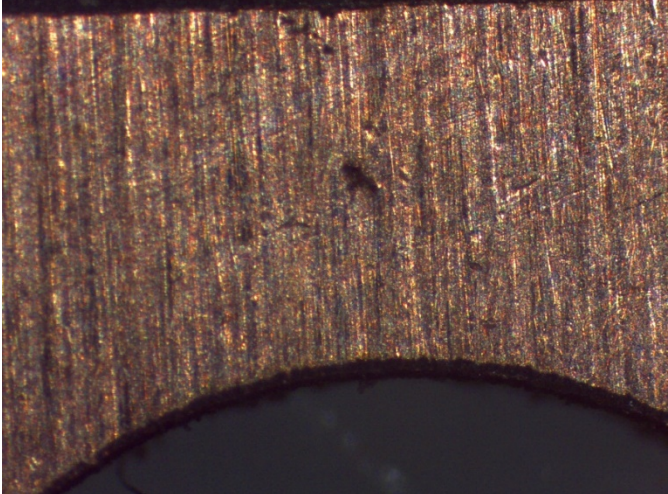
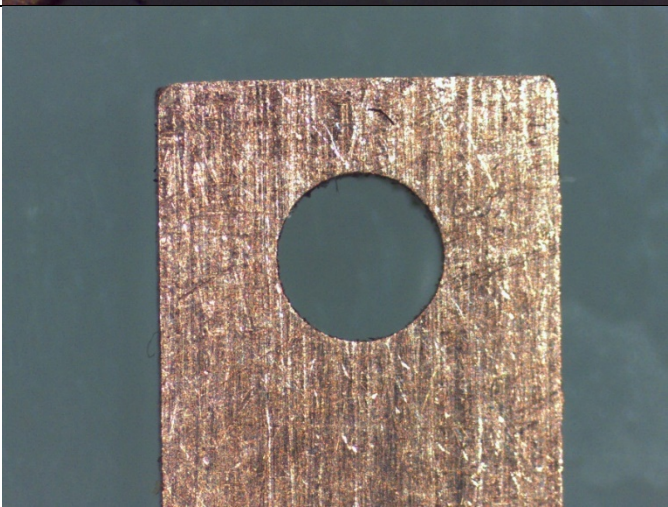

делают этот процесс более пригодным для серийного производства, но не для малой серии.

Лазерная резка гораздо более мобильна, вплоть до изготовления единичных образцов. Однако, исследования показали, что при использовании производительных методов лазерной резки в режиме плавления возникают некоторые замечания по качеству формируемых поверхностей.

Характерные поверхности образцов, полученных лазерной резкой показаны в таблице 2.

Таблица 2. Внешний вид поверхностей образцов, полученных лазерной резкой, х35.

№	Внешний вид образца после лазерной резки	Пояснения
1		Внутренний угол, толщина 0,5 мм
2		Контур эллиптического, толщина 1 мм, обратная сторона
3		Контур круглого отверстия диаметр 1 мм, толщина 0,5 мм
Образцы, изготовленные в режиме абляции		

№	Внешний вид образца после лазерной резки	Пояснения
4		Контур эллиптического отверстия, лицевая сторона
5		Отверстие 1 мм, обратная сторона
6		Торец 2 (сторона большей ширины)

Сравнение внешнего вида поверхностей образцов, вырезанных лазером, отличаются между собой в зависимости от способа резки, режимов, толщины.

В целом качество поверхностей образцов, вырезанных лазером несколько хуже, чем у штампованных, хотя и не выходят за пределы допуска на изготовления.

Для образцов, вырезанных в режиме плавления, снижение качества в большей мере заметно на обратной стороне детали, на выходе луча из материала. При этом наблюдаются как отклонения формы (непрямолинейность, некруглость), так и локальные дефекты в виде оплавлений (табл. 2, строка 2, 3). При этом характер этих

отклонений определяется процессом резания, а не траекториями, которые обеспечивают приводы установки.

Например, на рисунке таблица 2, строка 1 наблюдается подрезание внутреннего угла, возникшее из-за оплавления при задержке луча в зоне обхода угла. В наибольшей мере локальные дефекты в виде оплавления проявляются на криволинейных траекториях, таб. 2 с. 2, 3. Практически на всех опорных точках траектории интерполяции наблюдаются оплавления в зоне изменения направления движения луча. При этом отверстия вырезаются отдельными импульсами, прошивающими материал. Несмотря на ухудшение внешнего вида точность получаемых отверстий (некруглость) в большинстве случаев не хуже 0,04 мм, достигая в некоторых случаях величин 0,06 мм.

Внешний осмотр показывает, что качество обработки можно повысить за счет повышения частоты импульсов, при которых прошиваемые отверстия перекрываются бы друг друга. Положительного эффекта можно также добиться за счет оптимизации траектории движения луча, в ряде случаев за счет дополнительного чистового обхода контура, удаляющего поверхностные дефекты.

Образцы, выполненные в режиме абляции более высокое качество (таблица 2, с. 4-6). Практически отсутствуют нарушения геометрической формы, отклонения от круглости незначительны, нет оплавлений. Однако в этом режиме резание происходит за несколько проходов (в зависимости от толщины и мощности импульса). Многопроходная обработка приводит к различной ширине реза по глубине: в верхней части он шире. Т.е. ширина реза на входе, на лицевой части из-за многократного прохождения луча при послойном удалении металла несколько шире, чем у обратной (таблица 2, с. 6). Тем не менее, величина этого уширения невелика и для толщин металла до 1,0 мм её можно пренебречь. Режим резания в режиме абляции пригоден для изготовления деталей, сопоставимых по точности размеров и качеству поверхностей со штамповкой и электро-химическим фрезерованием. При этом интерес представляет использование высокочастотных лазеров (пикро- и фемто-), которые гарантировано обеспечат высокую точность резки, в том числе деталей с покрытием.

Анализ технологического оборудования показал, что ведущие производители установок лазерной резки выпускают модели с точностью позиционирования до 0,005 мм и даже точнее. При этом учетом возможной расфокусировки луча из-за допуска на толщину детали, погрешности установки реальная точность ограничена значениями $\pm 0,02$ м, реже $\pm 0,01$ мм.

Общие выводы.

1. Электро-химическая фрезеровка и лазерная обработка позволяет изготавливать изделия по своим геометрическим характеристикам соответствующие основным требованиям к типовым деталям, изготавливаемы штамповкой.

2. Лазерная обработка имеет более высокую гибкость при изготовлении малых серий деталей, вплоть до индивидуального производства.

3. Резание в режиме плавления обеспечивает высокую производительность, но требует правильной организации процесса для обеспечения качества реза и формируемых поверхностей.

4. Резание в режиме абляции позволяет обеспечивать качество, сопоставимое с качеством штамповки, особенно при использовании лазеров с меньшей длиной волны.

5. Лазерная резка деталей высокой точности требует решений по базированию и закреплению листовых заготовок, снижающих негативное воздействие эффекта расфокусирования лазерного луча.

ВЫПУСКНИКИ И ПРЕПОДАВАТЕЛИ ДОННТУ НА СЛУЖБЕ РОССИИ

Аноприенко А.Я. (ДонНТУ, Донецк, ДНР)

E-mail: anoprien@ya.ru

***Abstract:** The centennial history of DonNTU is considered as the history of the Russian Technical University. The contribution of the most outstanding teachers and graduates of the University to the development of Russia and Russian industry and technology is analyzed and revealed in the context of the history of DonNTU and Russia. The present and future of the university and its Faculty of Mechanical Engineering are also shown and considered.*

***Key words:** DonNTU, Donetsk National Technical University, Notable Alumni, Technosphere, technological development.*

Введение

2023-й год стал годом проведения уже **XXX международной научно-технической конференции «Машиностроение и техносфера XXI века», инициированной и проводимой под эгидой Донецкого национального технического университета (ДонНТУ)**. За три десятилетия в работе конференций приняло участие более 5-ти тысяч ученых и специалистов из 33-х стран мира, издано более 100 сборников научных трудов конференции, в которых опубликовано более 7-ми тысяч тезисов докладов и статей участников конференции, а также обсуждены и рекомендованы к защите более 50-ти докторских и 150-ти кандидатских диссертационных работ. Особая роль в инициировании и проведении этих конференций принадлежит профессору, заведующему кафедрой технологии машиностроения Михайлову Александру Николаевичу. Благодаря именно его усилиям традиция проведения этих конференций не прерывалась даже в самые сложные годы, а на базе конференции в 2000 году была создана и в дальнейшем успешно функционировала Международная общественная организация «Международный союз машиностроителей» (МСМ), в которую входили представители из 21-й страны, и работало 20 представительств в различных странах мира, а в настоящее время участники МСМ активно работают в созданном в 2023-м году на базе ДонНТУ Донецком региональном отделении «Союз машиностроителей России». Это весьма знаковое событие наряду с переходом ДонНТУ 31 марта 2023 года в федеральное подчинения, что явилось важнейшим этапом на пути интеграции университета в российское научно-образовательное пространство, начатом фактически ещё в конце 2014-го года. И эта конференция первая, проводимая ДонНТУ уже в новом качестве как федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования. Но, по сути, это не интеграция, а реинтеграция в ту русскую научно-образовательную среду, в которой наш вуз родился и развивался на протяжении почти всей своей вековой истории. В связи с этим именно сейчас необходимо отдать дань уважения тем преподавателям и выпускникам вуза, которые внесли наибольший вклад в дело служения России и напомнить об их славных деяниях. Естественно их очень много и поэтому ограничиться придётся только наиболее выдающимися и известными.

«В начале славных дел»

В 2021 году Донбасс отметил сразу две юбилейных даты: свое 300-летие как угольного бассейна, начало чему было положено экспедициями Григория Капустина и Бахмутских соляных копей, и 100-летие своего старейшего вуза, Донецкого национального технического университета, который явился основоположником не только высшего образования, но и науки в нашем степном индустриальном крае, так как

первые профессора на постоянной основе, активно занимавшиеся не только учебным процессом, но и научными исследованиями, появились именно в ДонНТУ уже в первые годы его существования как горного техникума [1-4]. До них Донбассу часть своей жизни уже уделили такие без преувеличения великие учёные как Ковалевский Евграф Петрович, выпускник Петербургского горного института и министр просвещения России в 1858-1861 гг., который в 1820-е годы после проведения первых системных геологических исследований фактически дал имя будущему промышленному краю, впервые в своих научных трудах введя такие понятия как «Донецкий кряж» и «Донецкий бассейн», и профессор Петербургского горного института Дмитрий Иванович Менделеев, в 1888 году трижды побывавший в Донбассе и написавший по итогам своих экспедиций знаменитый труд «Будущая сила, покоящаяся на берегах Донца». Но на постоянной основе профессорский коллектив сформировался впервые именно в Донецком горном техникуме в самом начале 1920-х годов. Благодаря им были заложены основы чрезвычайно динамичного развития нового учебного заведения, которое после многочисленных трансформаций стало современным Донецким национальным техническим университетом.

«Каждый шаг был выстрадан...» - эти слова первого директора Донецкого горного техникума **Исаи Марковича Пугача**, пожалуй, наиболее точно отражают историю Донецкого национального технического университета, который в начале 1920-х годов создавался как техникум. Но техникум того времени был высшим учебным заведением, имеющим право готовить инженеров узкого профиля, в данном случае горного. Потом, уже через несколько лет он становится горным институтом, затем индустриальным, а вскоре и политехническим. На рубеже тысячелетий вуз возвысился до статуса технического университета, а 30 мая 2021 года вступил во второе столетие своей истории. Преодоление таких рубежей заставляет вновь и вновь вспоминать истоки и первые годы славной истории, как тогда писали, «первого в мире пролетарского вуза».

В январе 1920 года наступательная операция Красной Армии против Вооружённых сил Юга России во время Гражданской войны в России завершилась полным освобождением Донбасса. Начался самый сложный этап борьбы с разрухой восстановления народного хозяйства. Уже в апреле 1920 года на I Всероссийском съезде горнорабочих В. И. Ленин от имени Советского правительства заявил: «Чтобы спасти советскую власть сейчас, необходимо дать хлеб для промышленности, т. е. уголь». А уголь – это Донбасс, Всероссийская Кочегарка, которая к 1917-му году давала практически 90 % российского угля. Но быстрое восстановление шахт и промышленности – это самая сложная задача, для успешного решения которой необходимы тысячи и тысячи квалифицированных кадров, а их в Донбассе после разрушительной Гражданской войны оставались едва ли сотни. В январе 1921 года Центральное правление каменноугольной промышленности и Всероссийский союз горнорабочих постановили основать в самом центре индустриального Донбасса в Юзовке основать Донецкий горный техникум. Одним из самых активных сторонников исторического решения был «товарищ Артем», которого сегодня помнят в основном как первого и единственного главу правительства Донецко-Криворожской Республики, просуществовавшей совсем недолго в 1918 году, но ставшей своего рода прообразом современной Донецкой Народной Республики. Весной 1921-го года на митинге в Юзовке в период подготовки техникума к открытию он пророчески провозгласил: «Я уверен, что на месте создаваемого техникума в будущем вырастет высшая горная школа!».

Возглавить организацию первого в Донбассе высшего учебного заведения и было поручено И.М. Пугачу, который до этого в 1913 году закончил горное училище со званием штейгера, а в 1917-1918 годах – высшие инженерные курсы. В 1920 году Исай Маркович, работая заместителем главного инженера Юзовско-Макеевского угольного

района, поддержал предложение городских властей о создании в Юзовке горного техникума для подготовки в кратчайшие сроки инженеров узкого профиля.

Техникуму отвели двухэтажное здание бывшего коммерческого училища. Под общежитие для студентов и другие нужды приспособили располагавшиеся поблизости здания бывшего питательного пункта земства и казачьих казарм. Общежитием студентов того времени было и нынешнее здание гаража университета. Официально оно именовалось «Домом пролетарского студенчества», но из-за чрезвычайной перенаселенности общежития его называли «Ясиноватский вокзал». Позже, когда помещение разделили перегородками, ему подыскали более пристойное наименование — «Крейсер Коминтерна».

С первых же дней особое внимание уделялось практической подготовке будущих инженеров. Поэтому полуразрушенные казачьи казармы, находившиеся неподалеку от училища, использовали под мастерские и лаборатории. Работы по организации техникума были начаты 21 января и закончены 30 мая 1921 года, когда в Юзовке было торжественно открыто учебное заведение нового типа. Весьма характерным было обращение к первым курсантам техникума при его открытии: **«В великий и знаменательный день 30-го мая 1921 года, когда вы, оторванные от забоев и станков, впервые за всю историю России и мира, входите в широко раскрывшиеся перед рабочим двери храма науки, чтобы оттуда выйти с запасом всех так необходимых Вам знаний, которые завоеваны наукой, на широкую дорогу строительства Социалистического Государства... Вы, товарищи Красные Курсанты, будете теми инженерами и техниками, которые электрифицируют и механизуют Россию; теми, кто заставит работать вместо человека машину; теми, кто будут строителями новой, невиданной в мире страны, страны света, правды, науки и довольства».**

Издания того времени о создании первого в Донбассе вуза писали следующее: **«Установка была взята на создание в Юзовке мощного высшего горно-технического учебного заведения, первого, в то время, втуза, расположенного в центре крупного промышленного района... При разработке структуры Донецкого Техникума копировались старые горные втузы – Ленинградский и Днепропетровский Горные Институты... Задаваясь масштабами дальнейшего развития, Донецкий Техникум уже тогда предвидел ту колоссальную потребность в инженерах, которая возникнет в Донбассе с начала предстоящего реконструктивного периода. Поэтому уже в первые месяцы существования Техникума, был намечен его дальнейший разворот до 2500-3000 чел. Для того времени это были цифры астрономические, если учесть, что нормальный контингент учащихся русских горных институтов до этого не превышал 400-500 чел. В этом смысле Донецкий Институт имеет право приписать себе в известной мере заслугу прогноза в отношении путей развития социалистической индустрии».** Основная задача нового учебного заведения заключалась в обеспечении инженерными кадрами масштабного восстановления и развития индустриального Донбасса.

19 апреля 1922 года Донецкий горный техникум (ДГУ), носивший к тому времени имя Артема, был награжден Трудовым Красным Знаменем, на полотнище которого была надпись: «Вздувайте горн и куйте смело!». В 1941-м году к своему 20-летию институт будет награждён уже орденом Трудового Красного Знамени, а в начале 1920-х в стране еще не было орденов и других знаков трудового отличия, поэтому такое знамя было высшей наградой производственным коллективам.

Поскольку студенты имели очень слабую общеобразовательную подготовку, администрация техникума организовала рабочий факультет. Это был один из первых в Украине рабфаков, где студенты в течение трех лет изучали общеобразовательные дисциплины. Среди первых студентов рабфака был и будущий глава СССР Никита

Сергеевич Хрущев. Именно Донтехникум дал старт его политической карьере, а он многое сделал для становления будущего славного вуза.

С первых же лет в техникуме стали работать профессора из Харькова, Екатеринослава, Новочеркаска и других городов. Изданиями того времени особо отмечалось, что техникум уже в первые годы проявил «действительно невиданный, до этого, рост и темпы развития». Донецкий Техникум имел уже к началу второго учебного года в составе своих преподавателей 4-х штатных высококвалифицированных профессоров (первых в истории края), активно занимавшихся наукой и изданием книг и учебных пособий, что позволяет уверенно считать ДонНТУ основоположником не только высшего образования, но и науки в Донбассе. Институт явился также основоположником экономического образования в Донбассе, начав подготовку инженеров-экономистов уже к концу 1920-х годов.

Из достижений первого периода отмечалось, в частности, следующее: **«Донецкий Горный Институт имеет право приписать себе заслугу пионерства в области организации переподготовки и повышения квалификации инженерно-технических кадров, которая, впоследствии, приняла в стране весьма широкие масштабы».**

Особо следует также отметить, что превращение рабочего, по сути, посёлка Юзовка в полноценный город с современной инфраструктурой произошло благодаря преподавателям и студентам Донецкого горного института (ДГИ), по инициативе и руками которых в городе были созданы транспортные (в первую очередь трамвайное сообщение), водопроводные и канализационные системы, а также заложен городской парк (нынешний парк Щербакова).

Практически сразу после организации учебного заведения директор Донецкого горного техникума предложил городским властям необычный проект: силами учащейся молодежи города соорудить в Юзовке, страдавшей от грязи и эпидемий, водопровод и трамвайную линию. Позднее началась и газификация. Помимо прямой пользы городу, И.М. Пугач планировал заработанные студентами деньги обратить на покупку литературы, наглядных пособий и обустройство общежитий. Студенты, к которым позже присоединились и жители города, рыли траншеи для прокладки труб, тянули линию первого трамвая, ремонтировали вагоны. Эти работы велись под руководством и по проектам И.М. Пугача, профессоров А.М. Первушина, А.И. Тулпарова, И.Е. Коробчанского и студента С.И. Евстратова (рис. 1).

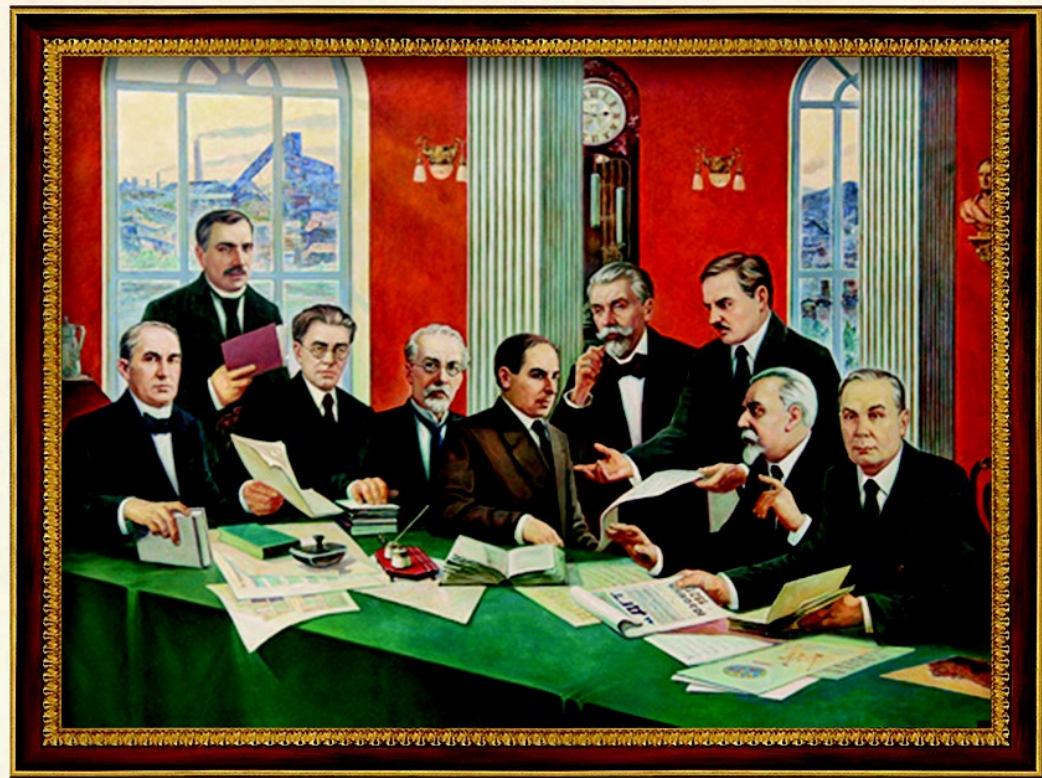


Рис. 1. «Отцы-основатели» ДГУ-ДГИ-ДИИ-ДПИ-ДонНТУ

К 1926 году техникум добился значительных успехов в подготовке квалифицированных специалистов, стал центром научно-технической мысли Донбасса. Однако высокие темпы индустриализации Донбасса требовали значительно большего количества специалистов. В апреле 1926 года Донецкий горный техникум был реорганизован в Донецкий горный институт (ДГИ). В этом же году состоялся первый выпуск инженеров: первые 26 выпускников защитили свои дипломные проекты и стали дипломированными инженерами. А уже в следующем году инженеров было выпущено в 3 раза больше.

Изначально ДГИ имел два факультета: горный (декан В.И. Белов) и горно-механический (декан Д.А. Лотоцкий). Немного позже открылся углехимический факультет (декан А.И. Тулпаров). Помимо этого, действовал вечерний металлургический техникум, высшие инженерные курсы и рабфак.

Сотрудничество с зарубежными странами и крупными европейскими фирмами первого в Донбассе технического вуза началось уже в 1926-27 годы, когда его руководство и профессура начинают устанавливать деловые и научные связи с ведущими фирмами Германии и Англии, которые специализировались на производстве оборудования для горной, металлургической и химической промышленности. В ноябре 1927 года И.М. Пугач обратился к руководству Горной Академии Фрайберга с просьбой об оказании содействия в рассылке заказов на оборудование лабораторий института иностранным фирмам Германии, Англии. В январе 1928 года руководство Академии сообщило в ответном письме горному институту, что оборудование для лабораторий сформировано для отправки и вскоре оно было получено ДГИ. В 1929 году горнотехнические заведения Германии посетил И.М. Пугач. Он ознакомился с учебными планами, программами, научно-исследовательской деятельностью горных академий Фрайберга и Клаусталя, горных школ Бохума и Эссена, политехнических институтов Шарлоттенберга и Аахена с тем, чтобы уже в ближайшие годы всё лучшее из увиденного там реализовать в ДГИ. В том же 1929-м году ряд профессоров и четверо первых

аспирантов ДГИ впервые получили возможность непосредственно ознакомиться с лучшим европейским инженерным опытом на угольных предприятиях и заводах Рурского бассейна в Германии, в частности, в городах Эссен и Бохум.

В конце 1929 года вечерний металлургический техникум ДГИ был преобразован в Донецкий металлургический институт (ДМИ), готовивший специалистов по доменному, мартеновскому и прокатному производству. Летом 1930 года на базе углехимического факультета ДГИ возник второй отраслевой институт - Донецкий углехимический (ДУХИ). Он быстро развивался: появились лаборатории химии угля, физики, коксования и другие. В ДУХИ работали известные ученые: проф. В.С. Крым, занимавшийся изучением химии углей; проф. И.Е. Коробчанский, разработавший проект газификации города Сталино и др.

В том же 1930-м году ДГИ стал призёром Всесоюзного конкурса на звание лучшего технического вуза и получил премию в 3 миллиона рублей на создание студгородка. За эти средства в кратчайшие сроки были построены 2 студенческих общежития (получивших название «Домов приезжих студентов» - ДПС), нынешний 1-й учебный корпус и 2 жилых дома для преподавателей.

В 1931 году первый руководитель ДонНТУ Исая Маркович Пугач переводится в Москву и назначается первым заместителем начальника метростроя Л. М. Кагановича, который был также куратором стройки по партийной линии, а его правой рукой и помощником был второй секретарь Московского городского комитета партии Н. С. Хрущев. И не будет большим преувеличением утверждение, что открытию первой линии московского метро в 1935 году состоялось во многом благодаря и усилиям этих 2-х выходцев нашего вуза: И.М. Пугача, решившего многие сложные инженерные проблемы в ходе строительства, и Н.С. Хрущева, энергия и инженерное образование которого также послужили на благой этой великой стройки.

Летом 1935 года, вскоре после восстановления в Советском Союзе учёных степеней и званий в институте состоялись первые защиты диссертаций. В этой связи следует особо отметить, что самый первый в стране обладатель советского диплома кандидата наук **Дмитрий Николаевич Оглоблин** позднее в 1948 году перешёл на работу в Донецкий индустриальный институт, где занимал должность заведующего кафедры «Маркшейдерское дело» горно-геологического факультета до конца жизни в 1968 году.

В 1935 году Донецкий горный институт путём его объединения с металлургическим институтом и пополнения студентами с целого ряда других вузов преобразуется в Донецкий индустриальный институт (ДИИ), который в 1941-1953 годах носил имя Н. С. Хрущёва. По инициативе Никиты Сергеевича в 1953 году он это имя и утратил: в 1953 году на всесоюзном уровне было принято решение не называть в честь живущих руководителей страны города, улицы, организации и прочее – по сути это был первый шаг к преодолению культа личности.

«Через тернии к звёздам»

Война и оккупация в 1941-1943 гг. привели институт и его материальную базу в состояние тотальной разрухи. В числе потерь, тяжелейшими из которых, естественно были в первую очередь человеческие, оказались также и лабораторное оборудование, и библиотечные фонды, и основная часть архивов. Но уже 5 декабря 1943 года вернувшиеся из эвакуации преподаватели и студенты возобновили занятия и активно занялись восстановлением не только института, но и всей промышленности Донбасса. В этой связи особо следует упомянуть откачку воды из тотально затопленных донецких шахт: немецкие оккупанты уходя из Донбасса и разрушая всё, что не могли забрать с

собой, рассчитывали исходя из своего опыта после первой мировой, что на откачку колоссальных объемов воды (по их оценке равных по объёму всем водам пролива Ла Манш – реально это было 650 млн кубометров воды) потребуется лет 50 или больше. Но специалистами ДИИ были предложены и в кратчайшие сроки реализованы такие технологии, которые позволили справиться с этой проблемой за считанные годы! (рис. 2). Уже в 1944 году шахты Донбасса дали стране 20-ти млн тонн угля.

«На столетие омертвел Донбасс», писали в свое время, захлебываясь, «объективные наблюдатели» в американских газетах...

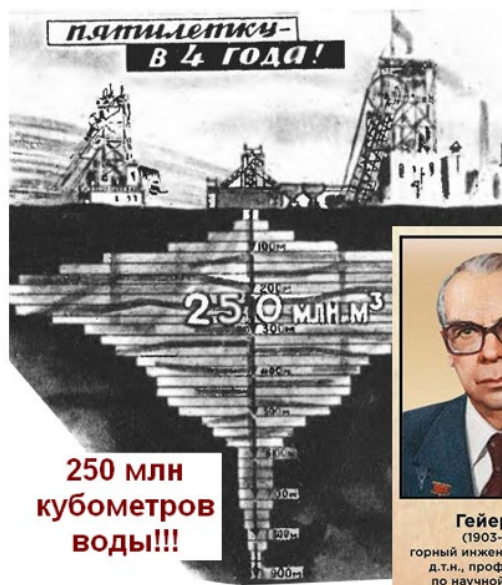
Уже через год после начала работ донбассовцы откачали свыше **110 миллионов** кубометров воды, то есть столько, сколько **французы** смогли выкачать за 10 лет..

Всего откачено 600 млн кубометров воды!!!

1943-1948

Изгнание ПОДЗЕМНОГО МОРЯ

В №10 журнала «Техника - молодежи» за 1948 год: «Изгнание подземного моря»



250 млн кубометров воды!!!



Гейер В.Г.
(1903-1990 гг.)
горный инженер, вып. 1930 г.,
д.т.н., проф., проректор
по научной работе ДПИ

С 1944-го года Донбасс опять стал обеспечивать страну углём!



Рис. 2. «Изгнание подземного моря»: учёными и специалистами ДИИ в ходе восстановления Донбасса после Великой Отечественной войны были созданы технологии откачки колоссальных объемов воды (по их оценке равных по объёму всем водам пролива Ла Манш – более 600 млн кубометров!), позволившие за считанные годы восстановить довоенную добычу угля и в дальнейшем экспоненциально её наращивать

В послевоенное время, в наступившую эпоху научно-технической революции вуз интенсивно развивался вместе с Донбассом, который постепенно превращался не только в индустриальный, но и в один из образовательных научных центров страны. Кривая почти экспоненциального наращивания добычи угля в Донбассе и аналогичная кривая наращивания выпуска инженеров в этот период практически совпадают (рис. 3). К 1960-му году ДИИ готовит инженеров уже по множеству направлений и в связи с этим преобразуется в Донецкий политехнический институт (ДПИ), продолжая своё интенсивное развитие.

До конца 1960-х годов Донбасс являлся основным источником энергоресурсов страны!

Инженерные кадры



«Кадры решают всё»: успех 1-го (1920-1941) и 2-го (1945-1968) восстановления Донбасса был во многом обеспечен опережающей подготовкой инженерных кадров

В 1921-м году для кадрового обеспечения восстановления Донбасса был создан Донецкий горный институт (впоследствии ДГИ и ДПИ) – нынешний Донецкий национальный технический университет (ДонНТУ)

Графики выпуска инженеров (слева) и добычи угля (справа) в Донбассе практически совпадают

Уголь



Рис. 3. Экспоненциальный рост добычи угля в Донбассе обеспечивался экспоненциальным ростом подготовки кадров для угольной промышленности

Начало украинского периода в 1990-х годах ознаменовалось невероятными сложностями и разрывом наработанных десятилетиями научных и образовательных связей, одним из следствий чего стало резкое сокращение объёма научных исследований, восстановить которые частично удалось лишь интенсивным переключением на европейское научно-образовательное пространство. Но в целом вузах удалось удержать на траектории развития, о чём свидетельствует преобразование его в 1993 году в Донецкий государственный технический университет (ДонГТУ), а с 2001 года – в Донецкий национальный технический университет (ДонНТУ). В этот период вуз пытался также не терять связь с российскими вузами, о чём, например, ярко свидетельствует существовавший в тот период единственный в своём роде российско-украинский университет, организованный совместно с Таганрогским радиотехническим институтом.

Завершением украинского периода в истории ДонНТУ стали события 2014-го года. Особенно памятным и знаковым для сотрудников университета стал день 14 августа, когда главный кампус университета был целенаправленно обстрелян из тяжёлой артиллерией вооружённых сил Украины. С конца 2014-го года начинается интенсивный процесс возврата университета в российское научно-образовательное пространство, зримым подтверждением чего стали десятки договоров о сотрудничестве с ведущими российскими вузами. Уже в мае 2015-года ДонНТУ инициирует проведение ежегодных международных Форумов «Инновационные перспективы Донбасса» и начинает своё развитие в новых условиях.

Выдающиеся выпускники ДонНТУ

Основная заслуга ДонНТУ за 100 лет его существования заключается в подготовке 250 тысяч высококвалифицированных профессионалов не только для Донбасса, но и для всего Советского Союза, России, а также – для почти 100 стран мира.

Среди многочисленных выдающихся выпускников ДонНТУ в первую очередь следует отметить **Хрущёва Никиту Сергеевича**, возглавлявшего СССР в период с середины 1950-х до середины 1960-х – годы прорыва в космос и технологического первенства Советского Союза в очень многих областях, включая атомную энергетику, ракетостроение и даже (во многом) компьютерные технологии. Не случайно во многих западных изданиях этот период получил название «славного десятилетия», когда Россия впервые за свою тысячелетнюю историю начала претендовать на мировое технологическое лидерство, ярчайшими проявлениями которого стали космические достижения, положившие начало прорыву человечества в космос, в том числе первый спутник Земли в 1957-м году и полёт Юрия Гагарина в 1961-м.

Одним из наиболее известных выпускников ДонНТУ является также **Ляшко Александр Павлович**, возглавлявший правительство Украины практически в лучшие годы её истории с 1972-го по 1987-й.

Выпускниками ДонНТУ являлись руководители угольной промышленности СССР и Украинской ССР (**Сургай Николай Сафонович**), премьеры (Янукович Виктор Фёдорович - премьер-министр Украины в 2002-2005 гг. и 2006-2007 гг., Звягильский Ефим Леонидович, исполнявший обязанности премьер-министра Украины в 1993-1994 гг.), вице-премьеры (Гайдук Виталий Анатольевич, Клюев Андрей Петрович) и министры Украины и России, в частности **Безлепкина Людмила Фёдоровна** – экс-министр социальной защиты населения Российской Федерации, а также руководители крупных предприятий и организаций Советского Союза, России, Украины, Донбасса и Донецкой Народной Республики (ДНР). Среди выпускников ДонНТУ и те, кто взяли на себя ответственность за становление нашей Республики в тяжелейшие для неё годы: это и министр информации и массовых коммуникаций Донецкой Народной Республики ДНР в 2014-2017 гг. Никитина Елена Николаевна, и нынешняя министр труда и социальной политики Толстыкина Лариса Валентиновна, и многие-многие другие.

Особо следует упомянуть **Александра Фёдоровича Засядько** (1910-1963) — советского хозяйственного, государственного и партийного деятеля, Героя Социалистического Труда (1957), депутат Верховного Совета СССР 5-ти созывов, который после Великой Отечественной войны, будучи министром угольной промышленности СССР и на других руководящих должностях, сыграл выдающуюся роль в восстановлении угольной промышленности Донбасса. С 1958-го года он был Заместителем Председателя Совета Министров СССР и одновременно с 22 апреля 1960 года – Председателем Государственного научно-экономического совета при Совете Министров СССР в период «славного десятилетия» и подготовки амбициозной (но, увы, нереализованной) Программы строительства коммунизма.

Далеко не каждый житель России и даже Донецка знает, что трудами его земляков-инженеров была создана крупнейшая в мире единая система газоснабжения, благодаря которой голубым топливом обеспечена территория бывшего СССР и стран Европы. История эта началась зимой 1933 года, когда при отделе коммунального хозяйства городского Совета депутатов трудящихся города Сталино (ныне Донецк) открылась первая проектная контора «Проектгаз» (ныне – институт «ЮЖНИИГИПРОГАЗ»), которую возглавил выпускник Донецкого углехимического института **Юлий Ильич Боксерман**, которому на тот момент исполнился лишь 21 год. В последующем Ю.И. Боксерман руководил газификацией Куйбышева, Москвы и всего Советского Союза, став в 1943 году заместителем начальника созданного при

Совнаркомом СССР Главгазтопрома (позже преобразован в Главгаз), одновременно с 9 декабря 1946 по 1950 гг. возглавляя Управление эксплуатации газопровода Саратов-Москва (ныне ООО «Газпром трансгаз Москва»), в 1956 году – заместителем начальника Главного управления газовой промышленности при Совете Министров СССР, а в 1965-м – заместителем министра газовой промышленности СССР.

Среди выпускников ДонНТУ, подготовленных почти для почти ста стран мира, также много выдающихся инженеров и руководителей, один из которых, **Нгуен Ван Ан**, возглавлял Национальное Собрание Вьетнама в 2001-2006 гг.

Из множества выдающихся учёных, ставших не только выпускниками ДонНТУ, но и его знаменитыми профессорами, упомянем лишь некоторых наиболее известных основателей научных школ:

Гейер Виктор Георгиевич (1903 – 1990) — горный инженер, создатель научной школы в области автоматизации шахтных вентиляторных и водоотливных установок, гидравлической добычи угля, теории и методов расчёта эрлифтных установок – сыграл выдающуюся роль в восстановлении шахт Донбасса после Великой отечественной войны.

Пак Витольд Витольдович (1935 – 2002) — математик, горный инженер и педагог, автор более 120 изобретений. Являлся сыном **первого в Донбассе академика (с 1951 года) АН Украины Витольда Степановича Пака**, вся трудовая деятельность которого с 1934 года была связана с Донецким индустриальным институтом: заведующий кафедрой горной механики и декан горного факультета к 1940 году, руководитель сектора научно-исследовательских организаций Технического управления Наркомата угольной промышленности СССР (1940—1942), доктор технических наук (1941). Заведующий кафедрой горной механики Средне-Азиатского индустриального института (1942—1944). В 1944 году вернулся в ДПИ на должность заведующего кафедрой горной механики.

Фельдман Лев Петрович (1923-2017), ветеран Великой Отечественной войны, прошедший её добровольцем с июля 1941-го года до парада Победы в Москве в 1945 году, выпускник Московского Государственного университета, профессор кафедры прикладной математики и информатики, лауреат Государственной премии Украины, перешедший на работу в Донецкий политехнический институт в 1963 году и создавший в нём первую и ведущую в Донбассе научно-образовательную школу компьютерных наук и технологий.

Панов Борис Семенович (1928 – 2012) — советский и украинский геолог, доктор геолого-минералогических наук (1975). Лауреат Государственной премии УССР в области науки и техники (1983) за цикл работ «Теоретическая и региональная минералогия», Заслуженный деятель науки и техники Украины (1996), почетный профессор-доктор наук Цзилинского университета (КНР), академик АН высшей школы Украины (с 1993).[1] Международным Биографическим Центром (Кембридж, Англия) избран Всемирным Человеком Года 1992-1993. За 50 лет активной творческой деятельности Борис Семенович опубликовал 552 научные работы, из них 10 монографий, 6 учебных пособий, в том числе и в зарубежных издательствах. Среди его учеников 6 докторов и 14 кандидатов геологических наук.

Сорокин Василий Александрович (1901-1977) – профессор, завкафедрой «Металлургия чугуна» Донецкого индустриального и Донецкого политехнического институтов (ныне ДонНТУ) в 1947-1977 гг., всемирно известный ученый-металлург, автор передовых методов чугунно-литейного производства, по которым осуществляется производство чугуна практически во всем мире. По его проектам и при его участии в тяжелейшие годы Великой Отечественной войны, в 1942 году, на Магнитогорском металлургическом комбинате была открыта самая производительная доменная печь. Он

также является автором первых систем автоматизации доменного производства, реализованных на металлургическом комбинате «Азовсталь».

Александр Анатольевич Минаев (родился в 1942 году) — учёный в области металлургии, доктор технических наук, профессор, член-корреспондент Национальной академии наук Украины (с 2009), ректор Донецкого национального технического университета (1989-2014), председатель Совета ректоров вузов Донецкой области (2011-2014), Заслуженный работник образования Украины, Заслуженный деятель науки и техники Украины (с 1992), Лауреат Государственных премий Украины. Под его руководством защищено более 30 докторских и кандидатских диссертаций.

Горохов Евгений Васильевич (родился в 1939 году) — основатель уникальной научной школы по повышению надежности и долговечности строительных конструкций, профессор, заведующий кафедрой металлических конструкций и сооружений, в 1991-2018 гг. ректор, а с 2018 года Президент Донбасской национальной академии строительства и архитектуры, в 2018-2019 гг. министр образования и науки Донецкой Народной Республики. Автор более 400 научных и учебно-методических работ, в том числе 14 монографий, 21 нормативного документа, 20 авторских свидетельств и патентов. Под руководством Е. В. Горохова защищены 28 кандидатских и 8 докторских диссертаций.

Среди нынешних руководителей Республики также есть выпускники ДонНТУ. В частности, это **Толстыкина Лариса Валентиновна**, заместитель Председателя Правительства ДНР, окончившая ДонНТУ в 1989 году по специальности «Электроснабжение промышленных предприятий и городов», и **Алексей Валерьевич Кулемзин**, глава администрации Донецка с 2016 года, в 2000 году окончил Донецкий государственный технический университет по специальности «государственная служба».

Из известных выпускников, ставших российско-украинскими руководителями и предпринимателями, заслуживает упоминания **Виктор Леонидович Нусенкис** (род. 1954) — украинский и российский бизнесмен, совладелец и глава концерна «Энерго», основатель группы компаний «Донецксталь – металлургический завод», крупнейший церковный жертвовател Украинской православной церкви московского патриархата. В 1992 году Нусенкис основал концерн Энерго, который вскоре стал крупнейшим торговцем углём на Украине, в России и Казахстане. Практически все значительные храмы Донецкой епархии воздвигнуты на его средства. В России на его средства построен храм Богоявления Господня в городе Козельск.

Из числа прочих знаменитых выпускников ДонНТУ следует назвать ещё двоих, получивших в своё время всесоюзную известность:

Иван Иванович Стрельченко (1932-2003) — бригадир шахты «Трудовская», Донецкая область, УССР. Дважды Герой Социалистического Труда (1966, 1978). С 1976 года — начальник участка шахты «Трудовская», коллектив которого в 1977 году добыл более 1 млн тонн угля. С 1987 года — директор Центрального бюро научно-технической информации Министерства угольной промышленности СССР (в г. Донецке).

Анатолий Борисович Соловьяненко (1932-1999) — советский, украинский оперный певец (лирико-драматический тенор). Народный артист СССР (1975). Герой Украины (2008). Лауреат Ленинской (1980) и Государственной премии Украины им. Т. Шевченко (1997). в 1954 году с отличием окончил институт, поступил в аспирантуру и стал работать преподавателем на кафедре инженерной графики. Участвовал в концертах художественной самодеятельности. В 1962 году произвёл сенсацию на смотре народных талантов в Киеве, уверенно и профессионально исполнив произведения мирового тенорового репертуара. «Золотой» памятник ему, как «золотому голосу» страны

установлен около Театра оперы и балета в Донецке – единственный в мире памятник такого рода инженеру и преподавателю вуза.

Заключение

В настоящее время ДонНТУ является центром подготовки высококвалифицированных профессионалов не только в традиционных для индустриального Донбасса отраслях (горное дело, металлургия, машиностроение, химия и др.), но и во всех направлениях информационно-компьютерных технологий (с 1961 года), чрезвычайно важных и востребованных в ДНР и России в условиях ускоренного становления цифровой экономики и развития таких стратегически важных для будущего направлений как технологии искусственного интеллекта и нового технологического уклада. В связи с этим год векового юбилея ознаменуется и характерными структурными преобразованиями, в частности, на базе крупнейшего и наиболее интенсивно развивающегося факультета компьютерных наук и технологий создан одноименный научно-образовательный институт в составе 2-х факультетов, один из которых, включающий старейшую компьютерную кафедру ДонНТУ, получил название «Факультет интеллектуальных систем и программирования», что отражает одну из главных тенденции в развитии техносферы будущего: её стремительную интеллектуализацию. В рамках этих тенденций факультет инженерной механики и машиностроения, один из старейших и крупнейших в университете, переименован в факультет интегрированных и мехатронных производств (рис. 4).



Рис. 4. Эмблема факультета интегрированных и мехатронных производств

В университете также успешно формируется новое научное направление «Системодинамика техносферы», значительный вклад в развитие которого внесло и обсуждение этой тематики в рамках международной научно-технической конференции «Машиностроение и техносфера XXI века» [5-9].

Начиная новое столетие своей истории трудовой коллектив ДонНТУ может заслуженно гордиться тем, чего уже удалось достигнуть и сохранить о за столетие славной истории. и есть все основания надеяться на приумножение достигнутого. Символично, что 2021-й год, объявленный в России годом науки и технологий, для ДонНТУ явился не только годом 100-летнего юбилея, но и годом официального возвращения в Россию, так как именно в этом году университет получил свидетельство о государственной аккредитации в Российской Федерации. Символизм этот приобрёл ещё большее значение в 2022-2023-м годах, когда вхождение ДНР в состав России и переход ДонНТУ в федеральное подчинение совпали с началом объявленного в Российской Федерации десятилетия науки и технологий, а также – с 250-летием инженерного образования в России, связанного со старейшим российским техническим

вузом – Санкт-Петербургским Горным университетом, являющимся вузом-куратором ДонНТУ. И сегодня Донецкий национальный технический университет, начиная новое столетие своей истории, несмотря на сложную военную обстановку, имеет все основания уверенно смотреть в будущее, связанное с очередным, уже 3-м в непростой истории края, восстановлением Донбасса и его новой, 4-й индустриализацией (рис. 5).

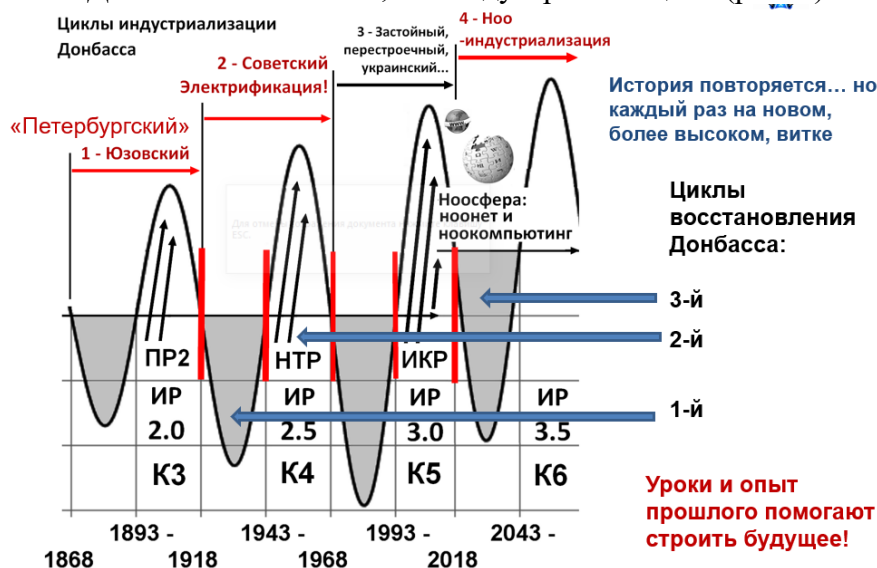


Рис. 5. Циклы индустриализации и восстановления Донбасса

Список литературы: 1. Аноприенко А.Я. Столетний юбилей ДонНТУ: сохранить всё лучшее и приумножить достигнутое // Донецкий политехник. – 2021. – №6 (2399). – С. 2-5. 2. Донецкий национальный технический университет. Хроника и календарь событий 1921-2021 гг. / А. А. Саржан; ред. коллегия: А. Я. Аноприенко (ответ. ред.) и др. – Донецк: ДонНТУ, 2021. – 584 с. 3. Менделеев Д. И. Будущая сила, покоящаяся на берегах Донца / Д. И. Менделеев; под редакцией А. Я. Аноприенко – Донецк: ДонНТУ, УНИТЕХ, 2021. — 220 с. 4. Известные ученые технического образования и науки Донецкого национального технического университета (1921–2021) / М. П. Зборщик, А. Я. Аноприенко, С. В. Борщевский. – Донецк: ДонНТУ, УНИТЕХ, 2021. – 286 с. 5. Аноприенко А.Я. Научные основы системодинамики техносферы: теория, модели, практика // «Машиностроение и техносфера XXI века». Сборник трудов ХХІХ международной научно-технической конференции в г. Севастополе 12-18 сентября 2022 г. – Донецк: ДонНТУ, 2022. С. 13-23. 6. Аноприенко А.Я. Будущее техносферы: ближние и дальние рубежи и прогнозы// «Машиностроение и техносфера XXI века». Сборник трудов ХХVІІІ международной научно-технической конференции в г. Севастополе 13-19 сентября 2021 г. – Донецк: ДонНТУ, 2021. С. 46-55. 7. Аноприенко А.Я. Системодинамика техносферы как новое научное направление в понимании прошлого и прогнозировании будущего // «Машиностроение и техносфера XXI века». Сборник трудов ХХVІІ международной научно-технической конференции в г. Севастополе 14-20 сентября 2020 г. – Донецк: ДонНТУ, 2020. С. 18-28. 8. Аноприенко А.Я. Интеллектуализация техносферы в контексте универсальной эволюции // «Машиностроение и техносфера XXI века». Сборник трудов ХХVІ международной научно-технической конференции в г. Севастополе 23-29 сентября 2019 г. – Донецк: ДонНТУ, 2019. С. 482-486. 9. Аноприенко А.Я. Системодинамика техносферы: закономерности и перспективы научно-технологического развития в контексте информационно-компьютерной революции // Доклад на ХХV международной научно-технической конференции «Машиностроение и техносфера XXI века» в г. Севастополе 11 сентября 2018 г., 40 слайдов.

СОДЕРЖАНИЕ

Borisenko V. F., Sidorov V. A. UTILIZATION OF VIBRATION INDICATOR FOR ESTIMATION NON-UNIFORMITY OF AIR GAP IN THE ELECTROMECHANICAL ENERGY CONVERTER.....	6
Бандюк М.А. О ПЕРСПЕКТИВАХ ДОБЫЧИ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ С ПРИМЕНЕНИЕМ ТЕХНОЛОГИИ БУРЕНИЯ.....	16
Бараниченко В.В., Бедоидзе М.В., Горовой К.И., Ермаков А.С., Цымбалов Д.С., Яценко О.В. АНАЛИТИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ И КОМПЬЮТЕРНАЯ ИМИТАЦИЯ ПОТОКА ВОЗДУХА В СЕПАРАЦИОННОМ ДИФFUЗОРЕ.....	21
Бараниченко В.В., Бедоидзе М.В., Ермаков А.С., Милев И.Ю., Цымбалов Д.С., Харахашьян А.М. ОПЕРАТИВНЫЙ АНАЛИЗ ШУМОВОЙ ОБСТАНОВКИ НА РАБОЧИХ МЕСТАХ СТАНКОВ ЛЕСОПИЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА.....	27
Бараниченко В.В., Болдырев А.Ю., Грищенко В.И., Медведев Д.Д., Цымбалов Д.С., Яценко О.В. МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ МЕЛКОСТИ РАСПЫЛИВАНИЯ ТОПЛИВ ПО ГЕОМЕТРИИ ЗОНЫ СМАЧИВАНИЯ (ПЯТНА).....	33
Баранов А.В., Баранова Л.А., Вейколайнен Е.А. ВОПРОСЫ АНАЛИЗА, СИНТЕЗА, МОДЕЛИРОВАНИЯ И РАСЧЕТОВ СЛОЖНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ.....	37
Баранов А.В., Баранова Л.А., Вейколайнен Е.А. ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОЦЕССА РЕЗАНИЯ ПРИ ОПЕРАЦИЯХ ГЛУБОКОГО СВЕРЛЕНИЯ.....	42
Бахадиров Г. А., Цой Г. Н., Набиев А. М. ВАЛКОВОЕ УСТРОЙСТВО С УПРАВЛЯЕМОЙ ОБРАБОТКОЙ МАТЕРИАЛА.....	47
Борзов Д.Б., Асеев Д.А. ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ WI-FI В РЕКОНФИГУРИРУЕМЫХ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЯХ РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ.....	52
Бохонский А.И., Варминская Н.И. ЭКСТРЕМАЛЬНОЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ ПРИНУЖДЕНИЕ В ОПТИМАЛЬНОМ ПЕРЕМЕЩЕНИИ УПРУГОГО ОБЪЕКТА.....	54

Буялич Г. Д., Тащиенко В. П. ПРОХОДКА СПАРЕННЫХ ШТРЕКОВ В УГОЛЬНЫХ ШАХТАХ.....	61
Васильев В.И., Семенов А.Н. ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА СПОСОБА СОЗДАНИЯ ТОРМОЗЯЩЕГО МОМЕНТА ДЛЯ ИСПЫТАНИЯ ТЯГОВЫХ ЛЕБЕДОК ТРАНСПОРТНЫХ МАШИН.....	64
Веремейчик А.И., Холодарь Б.Г. ТЕМПЕРАТУРНОЕ ПОЛЕ ПРИ ПЛАЗМЕННОМ УПРОЧНЕНИИ СТАЛИ 45 С ПРИМЕНЕНИЕМ НЕПОДВИЖНОГО И ДВИЖУЩЕГОСЯ ИСТОЧНИКОВ ТЕПЛА.....	68
Витренко В.А., Ефимов А.А., Михайлова А.Д., Колесников Д.А. СОЗДАНИЕ НОВЫХ СХЕМ ФОРМООБРАЗОВАНИЯ ЗУБЧАТЫХ ВИНТОВЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ.....	73
Голубев В.С., Вегера И.И., Гуринович В.И., Дробышевский П.С. ИССЛЕДОВАНИЯ МИКРОСТРУКТУРЫ ВЫСОКОПРОЧНОГО ЧУГУНА ПОСЛЕ ЛАЗЕРНОЙ И ПЛАЗМЕННОЙ ОБРАБОТКИ.....	77
Горобец И.А., Лахин А.М., Жарких Д.С., Киселица Д.И. ИССЛЕДОВАНИЯ ТЕПЛОВЫХ ДЕФОРМАЦИЙ СТОЛА 3D ПРИНТЕРА.....	82
Гусев Е.Л. СОВРЕМЕННЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ПОВЫШЕНИЯ ДОЛГОВЕЧНОСТИ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ И КОНСТРУКЦИЙ ИЗ НИХ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ ФАКТОРОВ.....	85
Девойно О.Г., Кардаполова М.А., Луцко Н.И., Пилецкая Л.И. ТРИБОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА МУЛЬТИМОДАЛЬНЫХ ПОКРЫТИЙ, НАНЕСЕННЫХ ЛАЗЕРНОЙ НАПЛАВКОЙ, В УСЛОВИЯХ ТРЕНИЯ С ГРАНИЧНОЙ СМАЗКОЙ.....	90
Ермишкин В.А., Кулагин С.П., Минина Н.А., Михайлов Д.Л. ВЗАИМОСВЯЗЬ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ И СТРУКТУРНОГО СОСТОЯНИЯ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ СПЛАВОВ ПО ДАННЫМ ЭКСПЕРИМЕНТОВ IN SITU.....	102
Ермишкин В.А., Минина Н.А., Палий Н.А., Кулагин С.П. МЕХАНИЗМ ФОРМИРОВАНИЯ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ МОНОКРИСТАЛЛИЧЕСКОГО МОЛИБДЕНА ПО ДАННЫМ ЭКСПЕРИМЕНТОВ IN SITU.....	108

Жилинков А.А. ПРОЕКТ ЗЕРНОВОГО ПОРТОВОГО ТЕРМИНАЛА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МОЩНОЙ ПНЕВМОТРАНСПОРТНОЙ УСТАНОВКИ.....	114
Иваненко К.А., Борзов Д.Б. ПРИМЕНЕНИЕ УСТРОЙСТВ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА РАЗМЕЩЕНИЯ В МУЛЬТИПРОЦЕССОРНЫХ СИСТЕМАХ ВЫСОКОЙ ГОТОВНОСТИ.....	116
Каленская А.В. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ АВТОМАТИЧЕСКОЙ СВАРКИ ПЛАКИРОВАННОЙ СТАЛИ.....	120
Каракозов А.А. УЗЛЫ УПРАВЛЕНИЯ РЕЖИМАМИ РАБОТЫ ГИДРОУДАРНЫХ СНАРЯДОВ ДЛЯ БУРЕНИЯ ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНЫХ СКВАЖИН НА ШЕЛЬФЕ.....	124
Киреев А.Н., Киреева М.А. ТРЕХЧАСТОТНЫЙ МЕТОД УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ДЕФЕКТОМЕТРИИ.....	128
Коваленко В.И. ИНЖЕНЕРНАЯ ОЦЕНКА ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ АРТЕРИАЛЬНОГО ДАВЛЕНИЯ И ТРЕХ ВИДОВ ВОЗДЕЙСТВИЯ БИОРИТМОВ.....	133
Колганова Е.Н., Лебедев В.А., Мельникова Е.П., Шишкина А.П. ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕХНОЛОГИИ СБОРКИ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ ДАТЧИКОВ, РАБОТАЮЩИХ В УСЛОВИЯХ ВОЗДЕЙСТВИЯ ВИБРАЦИЙ.....	139
Коломиец Е.А. АНАЛИЗ ПЕРСПЕКТИВНЫХ ТРЕБОВАНИЙ К СТРУКТУРЕ, КАЧЕСТВУ И ОБЪЕМАМ ИСПОЛЗУЕМОГО ГЕОПРОСТРАНСТВЕННОГО ИНФОРМАЦИОННОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ В РЕГИОНЕ.....	144
Комиссаров А. П., Лагунова Ю. А., Маслеников О. А., Шестаков В.С. ИНТЕЛЛЕКТУАЛИЗАЦИЯ ГОРНЫХ МАШИН	149
Конаныхин А.Ю., Конаныхина Т.Н. МЕТОД НАХОЖДЕНИЯ СИМВОЛОВ НА ИЗОБРАЖЕНИЯХ ПРИ ПОМОЩИ УПРОЩЕННОЙ СВЕРТОЧНОЙ НЕЙРОННОЙ СЕТИ.....	151
Копачев Д.Н., Грицай В.В., Шашерина С.А. ИМПОРТЗАМЕЩЕНИЕ АЗОТНЫХ СТАНЦИЙ.....	156

Косенков Д.В., Косенкова Н.Ю., Сагадеев В.В. НОРМАЛЬНО-НАПРАВЛЕННОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ В ШИРОКОМ ДИАПАЗОНЕ ТЕМПЕРАТУР, ВКЛЮЧАЯ ФАЗОВЫЙ ПЕРЕХОД ТВЕРДОЕ ТЕЛО – ЖИДКОСТЬ.....	163
Костенко А.В., Солодилов И.А. О НЕОБХОДИМОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК СУДОВОГО ВАЛОПРОВОДА.....	167
Кругликов П.А., Сухоруков Ю.Г., Попов А.В., Кулаков Е.Н. АВТОМАТИЗАЦИЯ И ПРОВЕДЕНИЕ ОПТИМИЗАЦИОННЫХ РАСЧЕТОВ ОБОРУДОВАНИЯ АЭС НА БАЗЕ ПЛАТФОРМЫ ДЛЯ АНАЛИЗА ДАННЫХ.....	169
Лагунова Ю.А., Макарова В.В. ОСОБЕННОСТИ МЕХАНИЗМА ХОДА КАРЬЕРНОГО ЭКСКАВАТОРА.....	175
Лагунова Ю.А. УРАЛЬСКИЙ ГОРНЫЙ В РАМКАХ ПРОГРАММЫ «ПРИОРИТЕТ 2030».....	177
Лапаева И.В., Горобец И.А. ОПЫТ ПРОВЕДЕНИЯ УЧЕБНЫХ ЗАНЯТИЙ В ДИСТАНЦИОННОЙ ФОРМЕ.....	179
Малашенко Т.И., Малашенко В.В. НЕУСТОЙЧИВОСТЬ ВЫСОКОСКОРОСТНОЙ ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ СОСТАРЕННЫХ СПЛАВОВ В УСЛОВИЯХ УДАРНО-ВОЛНОВЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ.....	182
Малеев В.Б., Шамрай Ю.А., Малеев А.В., Кудрявцев А.А. МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПЫЛЕУЛОВИТЕЛЯ ДЛЯ УГОЛЬНЫХ ШАХТ.....	185
Михайлов А.Н., Анастасьев А.В., Пичко Н.С. ПРОБЛЕМА НЕРАВНОМЕРНОСТИ ТЕМПЕРАТУРНЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ НА ПЕРО ЛОПАТКИ ТУРБИНЫ ГАЗОТУРБИННОГО ДВИГАТЕЛЯ.....	188
Михайлов А.Н., Котляров В.Б. Котляров Б.С., Котляров С.Б. ОСОБЕННОСТИ РАЗРАБОТКИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЭКСЦЕНТРИКОВЫХ ПЛАНШАЙБ ДЛЯ ИЗМЕНЕНИЯ И ФИКСАЦИИ ОСЕЙ ВРАЩЕНИЯ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС.....	192

Михайлов А.Н., Котляров С.Б., Котляров В.Б. Котляров Б.С. УСТАНОВЛЕНИЕ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ СВЯЗЕЙ КОНСТРУКТИВНЫХ ПРИЗНАКОВ И ФОТ-ВОЗДЕЙСТВИЙ ПРИ ФОРМИРОВАНИИ ПРОФИЛЕЙ ОРЕБРЕННЫХ МЕДНЫХ ТРУБ МАСЛООХЛАДИТЕЛЕЙ.....	197
Михайлов А.Н., Огренич Д.В., Пичко Н.С., Недашковский А.П. СИНТЕЗ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА РЕМОНТА И ВОССТАНОВЛЕНИЯ ЛОПАТОК КОМПРЕССОРА ГТД.....	202
Михайлов А.Н. XXX МЕЖДУНАРОДНАЯ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ «МАШИНОСТРОЕНИЕ И ТЕХНОСФЕРА XXI ВЕКА»: СОБЫТИЯ И ИСТОРИЧЕСКИЕ ВЕХИ.....	208
Михайлов Д. А., Витренко В. А., Михайлов А. Н., Михайлов В. А., Шейко Е. А. КЛАССИФИКАЦИЯ ВАРИАНТОВ ФУНКЦИОНАЛЬНО- ОРИЕНТИРОВАННЫХ СВОЙСТВ ЭЛЕМЕНТОВ И СТРУКТУРЫ ВЕРТОЛЕТНОГО ГАЗОТУРБИННОГО ДВИГАТЕЛЯ.....	215
Мороз О.К. МОТИВАЦИЯ И ФАКТОРЫ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИЕ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИЗУЧЕНИЯ ИНОСТРАННЫХ ЯЗЫКОВ В ТЕХНИЧЕСКИХ ВУЗАХ.....	222
Муховатый А.А. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ИСХОДНОГО КОНТУРА ВНЕПОЛЮСНОЙ ЗУБЧАТОЙ ПЕРЕДАЧИ ДЛЯ ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ МАШИНОСТРОЕНИЯ.....	226
Овчинников Е.В., Аксамит А.А., Овчинников А.Е. СТРУКТУРА СВЕРХТВЕРДЫХ ЭЛЕКТРОИСКРОВЫХ ПОКРЫТИЙ ФОРМИРУЕМЫХ ПО БЕСКОНАКТНОЙ ТЕХНОЛОГИИ.....	231
Овчинников Е.В., Кузнецова Е.В., Якусевич М.С., Овчинников А.Е. ПЛАСТИЧНЫЕ СМАЗОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ, МОДИФИЦИРОВАННЫЕ УГЛЕРОДНЫМИ НАНОЧАСТИЦАМИ.....	236
Овчинников Е.В., Ядыкин С.А. ЗАРЯДОВАЯ АКТИВНОСТЬ СОДЕРЖАЩИХ КРЕМНИЙ НАНОФАЗНЫХ ЧАСТИЦ, ПРЕДНАЗНАЧЕННЫХ ДЛЯ МОДИФИЦИРОВАНИЯ ПОЛИМЕРНЫХ МАТРИЦ.....	241

Павлыш В.Н., Зайцева М.Н. СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДОВ ОРГАНИЗАЦИИ УЧЕБНОГО ПРОЦЕССА С ПРИМЕНЕНИЕМ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ.....	245
Павлыш В.Н., Лазебная Л.А. МОДИФИКАЦИЯ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ С УЧЕТОМ ОСОБЕННОСТЕЙ УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ ПРОЦЕССОМ ГИДРОПНЕВМАТИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА УГОЛЬНЫЙ ПЛАСТ.....	249
Павлыш В.Н., Перинская Е.В. ФОРМИРОВАНИЕ БЛОКА АЛГОРИТМИЧЕСКОГО И ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СХЕМ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ.....	253
Папулова Г.Н. ОСОБЕННОСТИ ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ СТАЛИ.....	259
Пашков И.В., Семенов А.Н. ПОВЫШЕНИЕ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ЛОПАТОК ТУРБИНЫ С ПРИМЕНЕНИЕМ ПЕРСПЕКТИВНЫХ СПОСОБОВ ЗАКРЕПЛЕНИЯ.....	263
Пиотух Д.С. РАЗРАБОТКА СИСТЕМООБРАЗУЮЩИХ КОМПОНЕНТОВ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ НЕМАТЕРИАЛЬНЫХ АКТИВОВ В ВЫСОКОТЕХНОЛОГИЧНОМ БИЗНЕСЕ.....	268
Плохов И.В., Козырева О.И., Савраев И.Е., Бандурин И.И. РАСПРЕДЕЛЁННАЯ НЕЛИНЕЙНАЯ ДИНАМИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ТРУБОПРОВОДА С ЭЛЕКТРОПОДОГРЕВОМ.....	272
Полуянович Н.К., Дубяго М.Н. АНАЛИЗ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ НАПРЯЖЕННОСТИ НЕОДНОРОДНЫХ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ В ИЗОЛЯЦИОННЫХ МАТЕРИАЛАХ КАБЕЛЕЙ С ГЕТЕРОГЕННЫМИ ВКЛЮЧЕНИЯМИ.....	277
Прейс В.В. РОТОРНЫЕ АВТОМАТЫ ПИТАНИЯ ПЛАНЕТАРНОГО ТИПА С ВИБРАЦИОННЫМИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫМИ ПРИВОДАМИ ЗАЗВАТЫВАЮЩИХ ОРГАНОВ.....	283
Приходченко Е.И., Павлюк Е.Н. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИНТЕРАКТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В ТЕХНИЧЕСКОМ ОБУЧЕНИИ: ПРЕИМУЩЕСТВА И НЕДОСТАТКИ.....	288

Приходченко Е.И., Турулина Ю.О. ИНТЕРАКТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРИ ОБУЧЕНИИ ТЕХНИЧЕСКИМ СПЕЦИАЛЬНОСТЯМ.....	291
Рак А.Н., Игнаткина Е.Л., Молчан А.А. ВЫБОР ГИБКИХ МУФТ ФИРМЫ RENK ДЛЯ СНИЖЕНИЯ ВИБРАЦИЙ МЕХАНИЗМОВ НА МОРСКИХ СУДАХ.....	294
Репневская М. С., Лахин А.М. ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПРОФЕССИОНАЛЬНО-ПРИКЛАДНЫХ КАЧЕСТВ СТУДЕНТОВ ИНЖЕНЕРНО-ТЕХНИЧЕСКИХ СПЕЦИАЛЬНОСТЕЙ.....	301
Рябичева Л.А., Белозир И.И. ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ ИНСТРУМЕНТА НА КАЧЕСТВО Порошковой заготовки при свободном дорновании.....	307
Савченко В.В. Костюков В.А., Полуянович Н.К. ИЗМЕНЕНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ КОНДЕНСИРОВАННЫХ МАТЕРИАЛОВ ОТ ГИПЕРФОНОНОВЫХ ВОЗМУЩЕНИЙ.....	312
Скворцов А.И., Слюдова А.А. СООТНОШЕНИЕ УПРОЧНЕНИЯ И РАЗУПРОЧНЕНИЯ ПРИ ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ СПЛАВА Zn-35%Al В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ	317
Соколов Д.Д., Семенов А.Н. ОБЕСПЕЧЕНИЕ КАЧЕСТВА ИСПОЛНИТЕЛЬНЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ КОРПУСОВ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ НАСОСОВ.....	321
Сотников В.Г., Мифтахов Р.А., Ланкин К. А., Ильясов И.Р., Гурьянов Д.А., Каримов И.Р. МЕТОДИКА РАСЧЕТА ГИДРАВЛИЧЕСКОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ СЛОЯ ИЗ- МЕЛЬЧЕННЫХ ОТХОДОВ ПРИ ИХ ШНЕКОВОМ ТРАНСПОРТИРОВАНИИ В УСТАНОВКЕ ПРОИЗВОДСТВА АКТИВИРОВАННОГО УГЛЯ.....	325
Степанова Е.А., Пожидаева Л.А. СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ НАСОСОВ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ГИДРОРАЗРЫВА ПЛАСТА.....	329
Унянин А.Н., Димухаметов И.З. МОДЕЛИРОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ПРОЦЕССА ФРЕЗЕРОВАНИЯ ЗАГОТОВОК ДЕТАЛЕЙ ИЗ ПОЛИКАРБОНАТА С НАЛОЖЕНИЕМ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ КОЛЕБАНИЙ.....	332

Хандожко А.В. Федонина С.О. ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТЕЙ АЛЬТЕРНАТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ ДЕТАЛЕЙ ИЗ ЛИСТОВОГО МАТЕРИАЛА В МЕЛКОСЕРИЙНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ.....	337
Аноприенко А.Я. ВЫПУСКНИКИ И ПРЕПОДАВАТЕЛИ ДОННТУ НА СЛУЖБЕ РОССИИ.....	343

ИМЕННОЙ УКАЗАТЕЛЬ

Borisenko V. F.	6	Кардаполова М.А.	90
Sidorov V. A.	6	Каримов И.Р.	325
Аксамит А.А.	231	Киреев А.Н.	128
Анастасьев А.В.	188	Киреева М.А.	128
Аноприенко А.Я.	343	Киселица Д.И.	82
Асеев Д.А.	52	Коваленко В.И.	133
Бандурин И.И.	272	Козырева О.И.	272
Бандюк М.А.	16	Колганова Е.Н.	139
Бараниченко В.В.	21, 27, 33	Колесников Д.А.	73
Баранов А.В.	37, 42	Коломиец Е.А.	144
Баранова Л.А.	37, 42	Комиссаров А. П.	149
Бахадиров Г. А.	47	Конаныхин А.Ю.	151
Бедоидзе М.В.	21, 27	Конаныхина Т.Н.	151
Белозир И.И.	307	Копачев Д.Н.	156
Болдырев А.Ю.	33	Косенков Д.В.	163
Борзов Д.Б.	52, 116	Косенкова Н.Ю.	163
Бохонский А.И.	54	Костенко А.В.	167
Буялич Г. Д.	61	Костюков В.А.	312
Варминская Н.И.	54	Котляров Б.С.	192, 197
Васильев В.И.	64	Котляров В.Б.	192, 197
Вегера И.И.	77	Котляров С.Б.	192, 197
Вейколайнен Е.А.	37, 42	Кругликов П.А.	169
Веремейчик А.И.	68	Кудрявцев А.А.	185
Витренко В. А.	73, 215	Кузнецова Е.В.	236
Голубев В.С.	77	Кулагин С.П.	102, 108
Горобец И.А.	82, 179	Кулаков Е.Н.	169
Горовой К.И.	21	Лагунова Ю. А.	149, 175, 177
Грицай В.В.	156	Лазебная Л.А.	249
Грищенко В.И.	33	Ланкин К. А.	325
Гуринович В.И.	77	Лапаева И.В.	179
Гурьянов Д.А.	325	Лахин А.М.	82, 301
Гусев Е.Л.	85	Лебедев В.А.	139
Девойно О.Г.	90	Луцко Н.И.	90
Димухаметов И.З.	332	Макарова В.В.	175
Дробышевский П.С.	77	Малашенко В.В.	182
Дубяго М.Н.	277	Малашенко Т.И.	182
Ермаков А.С.	21, 27	Малеев А.В.	185
Ермишкин В.А.	102, 108	Малеев В.Б.	185
Ефимов А.А.	73	Маслеников О. А.	149
Жарких Д.С.	82	Медведев Д.Д.	33
Жилинков А.А.	114	Мельникова Е.П.	139
Зайцева М.Н.	245	Милев И.Ю.	27
Иваненко К.А.	116	Минина Н.А.	102, 108
Игнаткина Е.Л.	294	Мифтахов Р.А.	325
Ильясов И.Р.	325	Михайлов А. Н.	188, 192, 197,
Каленская А.В.	120		202, 208, 215
Каракозов А.А.	124	Михайлов В. А.	215

Михайлов Д. А.	215	Холодарь Б.Г.	68
Михайлов Д.Л.	102	Цой Г. Н.	47
Михайлова А.Д.	73	Цымбалов Д.С.	21, 27, 33
Молчан А.А.	294	Шамрай Ю.А.	185
Мороз О.К.	222	Шашерина С.А.	156
Муховатый А.А.	226	Шейко Е. А.	215
Набиев А. М.	47	Шестаков В.С.	149
Недашковский А.П.	202	Шишкина А.П.	139
Овчинников А.Е.	231, 236	Ядыкин С.А.	241
Овчинников Е.В.	231, 236, 241	Якусевич М.С.	236
Огренич Д.В.	202	Яценко О.В.	21, 33
Павлыш В.Н.	245, 249, 253		
Павлюк Е.Н.	288		
Палий Н.А.	108		
Папулова Г.Н.	259		
Пашков И.В.	263		
Перинская Е.В.	253		
Пилецкая Л.И..	90		
Пиотух Д.С.	268		
Пичко Н.С.	188, 202		
Плохов И.В.	272		
Пожидаева Л.А.	329		
Полуянович Н.К.	277, 312		
Попов А.В.	169		
Прейс В.В.	283		
Приходченко Е.И.	288, 291		
Рак А.Н.	294		
Репневская М. С.	301		
Рябичева Л.А.	307		
Савраев И.Е.	272		
Савченко В.В.	312		
Сагадеев В.В.	163		
Семенов А.Н.	64, 263, 321		
Скворцов А.И.	317		
Слюдова А.А.	317		
Соколов Д.Д.	321		
Солодилов И.А.	167		
Сотников В.Г.	325		
Степанова Е.А.	329		
Сухоруков Ю.Г.	169		
Тациенко В. П.	61		
Турулина Ю.О..	291		
Унянин А.Н.	332		
Федонина С.О.	337		
Хандожко А.В.	337		
Харахашьян А.М.	27		

**XXX международная
научно-техническая конференция
«МАШИНОСТРОЕНИЕ И ТЕХНОСФЕРА XXI ВЕКА»**

Сборник трудов

ISSN 2079-2670

Главный редактор
д-р техн. наук, проф. А.Н. Михайлов
E-mail: tm@fimm.donntu.ru
Технический редактор Д. В. Огренич

*Учредитель и издатель – ДОНЕЦКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ*

Адрес издателя: ДНР, 283001, г. Донецк, ул. Артема, 58, ФГБОУ ВО «ДонНТУ»,
тел. +7 (856) 337-17-33, 335-75-62

Адрес редакции: ДНР, 283001, г. Донецк, ул. Артема, 58, тел.+ 7 949 306-08-79,
+7 (856) 301-08-05. E-mail: tm@fimm.donntu.ru . Сайт: <http://konf-sev.donntu.ru>

Подписано к печати 12.07.2023 г.
Формат 60x84^{1/16}. Бумага Maestro.
Гарнитура «Times New Roman». Печать лазерная.
Усл. печ. л. 21,27. Уч.-изд. л. 22,35. Тираж 300 экз.

Отпечатано в рекламно-издательском отделе учредителя
РИО «Донецкая политехника»
Адрес: г. Донецк, ул. Артема, 58
Тел.: +7 (856) 301-09-67