

CONFERENCE PROCEEDINGS

INTERNATIONAL SCIENTIFIC CONFERENCE

CONTEMPORARY INNOVATION
TECHNIQUE OF THE ENGINEERING
PERSONNEL TRAINING FOR THE
MINING AND TRANSPORT INDUSTRY

СІТЕРТМТІ'2020



ЗБІРНИК НАУКОВИХ ПРАЦЬ
МІЖНАРОДНОЇ КОНФЕРЕНЦІЇ
«СУЧАСНІ ІННОВАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ
ПІДГОТОВКИ ІНЖЕНЕРНИХ КАДРІВ ДЛЯ
ГІРНИЧОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ ТА ТРАНСПОРТУ 2020»



OPEN ACCESS

Відкрите Знання

24 – 25 April 2020
Dnipro University of Technology

Учбовий центр
«Інфотек»
 AUTODESK
Silver Partner

SCI-FORUM
NET
UA

Ministry of Education and Science of Ukraine

Dnipro University of Technology
(Ukraine)

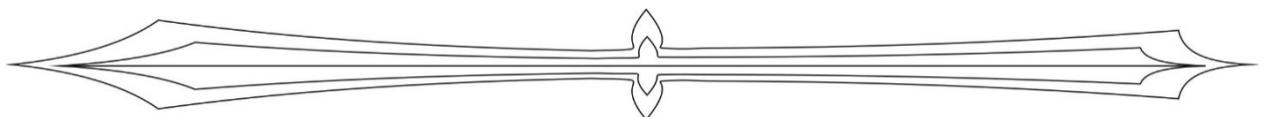
Vellore Institute of Technology (India)

Aktobe Regional State University named
after K. Zhubanov (Kazakhstan)

Training Center 'Infotech'

Public Organization
Education Center 'Open Knowledge'

Contemporary Innovation Technique of the Engineering
Personnel Training
for the Mining and Transport Industry 2020
(CITEPTMTI'2020)
Conference Proceedings



24-25 April 2020

Ukraine, Dnipro

УДК [[622:378.6]:[005.96:004]](082)

C 232

C 232

Contemporary Innovation Technique of the Engineering Personnel Training for the Mining and Transport Industry 2020 (CITEPTMTI'2020). Conference Proceedings. (2020) Ukraine, Dnipro: DUT, 413 p.

CITEPTMTI'2020 is a comprehensive conference covering all the various topics of High Education, Engineering Personnel Training for the Mining and Transport Industry, Innovation Research in Technical Sciences.

Authors are notified, that it is the responsibility of the authors, not the publisher, to determine whether disclosure of their material requires the prior consent of other parties and, if so, to obtain it. Authors are also advised that it shall be acknowledged that statements and opinions given in work published by CITEPTMTI are the expression of the authors. Responsibility for the content of published papers rests upon the authors, not the publisher.

ISSN 2311-147X (CD-ROM)
ISSN 2312-198X (Online)

Design and layouting: Ilya Verner
www.sci-forum.net.ua

Technical support: Laboratory of Informational Technology Design

Department of Engineering and Generative Design

© 2020 The Authors. Published by Dnipro University of Technology. This

is an open access article under the CC BY-NC-ND license

<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>



ORGANIZING COMMITTEE

Chairman – **Peter Pilov**, PhD, Professor, Dnipro University of Technology, Honored Scientist of Ukraine;

Co-chairman – **Zhanabergen Kuzbakov**, PhD, Associate Professor, Aktobe Regional State University named after K. Zhubanov (Kazakhstan);

Secretary – **Vladimir Prociv**, PhD, Professor, Head of Mining Engineering Department, Head of Sector for Rating Educational-Methodical Council Dnipro University of Technology;

SCIENTIFIC COMMITTEE

Dr. Vladimir Samusya - PhD, Professor, Head of Mining Mechanics Department, Dnipro University of Technology;

Dr. Igor Taran - PhD, Professor, Head of Transportation Management Department, Dnipro University of Technology;

Prof. S. Kalainathan - Deputy Director, Center for Crystal Growth, SAS, Vellore Institute of Technology (India);

Dr. Girish M. Joshi - Associate Professor in Physics, Polymer Nanocomposite Lab, Center for Crystal Growth, Vellore Institute of Technology (India);

Mr. Konstantin Bas - PhD, Associate Professor, Head of Automobiles and Automobile Economy Department, Dnipro University of Technology;

Dr. Dmitry Kolosov - PhD, Associate Professor, Head of Structural, Theoretical and Applied Mechanics Department, Dnipro University of Technology;

Mr. Kirill Ziborov - PhD, Associate Professor, Head of Engineering and Generative Design Department, Dnipro University of Technology;

Ms. Tatniana Pismenkova – PhD, Associate Professor, Engineering and Generative Design Department, Dnipro University of Technology;

Ms. Lubov Chernova – Ph.D., Head of PO EC "Open Knowledge";

Technical editor – **Ilya Verner**, Head of Informational Technology Design Laboratory, Engineering and Generative Design Department, Dnipro University of Technology.

Table of Contents**Содержание*****Mining and Metallurgical Equipment******Горное и металлургическое оборудование***

Kalashnik Anatoly, Dyakov Andrey, Zaporojec Dmitry	Калашник А.И., Дьяков А.Ю., Запорожец Д.В.	17
GPR Equipment for Internal Structure Research and Monitoring of Mining Structures	Георадарное оборудование для исследования внутренней структурой и мониторинга горнотехнических конструкций	
Kalashnik Anatoly Geomechanical Ensuring of Mining Development of Tectonic Stressed Ore Layers	Калашник А.И. Геомеханическое обеспечение разработки рудных пластов в тектонически напряженных породах	25
Lukienko L.V. Basis For Major Design Solutions of Haulage Mechanism Low-Web High-Speed Extraction Machine	Лукиенко Л.В. Обоснование основных конструктивных решений механизма перемещения малозахватной быстроходной выемочной машины	32
Fedoskin V.A., Yehurnov O.I., Fedoskina E.V. The Problems of Industrial Production Waste Processing	Федоскин В.А., Егурнов А.И., Федоскина Е.В. К вопросу переработки отходов промышленного производства	35
Fedoskina O.V., Matsyuk I.M., Batus V.V. The Vibration Crusher Plates Shape Features	Федоскіна О.В., Мацюк І.М., Батусь В.В. Особливості форми футерувальних плит вібраційної щокової дробарки	43

Mechanical Engineering and Engineering Science
Машиностроение и машиноведение

Vynogradov Borys <i>Self-Installing Drive Pinions in Drum Mill Drives</i>	Виноградов Б.В. <i>Самоустанавливающиеся приводные шестерни в приводах барабанных мельниц</i>	47
Fedorichenko S.O., Batus V., Fartushna A. <i>Setting Up of Thermal Treatment Modes of Shaft Mine Tanks Determination by Defined Kinematic and Power Movement Features</i>	Федоряченко С.О., Батус В., Фартушна А. <i>Встановлення режимів термообробки деталей буксового вузла шахтної вагонетки за визначеними кінематичними та силовими характеристиками руху</i>	50
Ziborov K.A., Dytik V.E., Aharkov D.A. <i>Mechanical Properties of the Surface Layer of Friction Wheel-Rate Material Materials Taken Into Account of Thermal Physical Processes in the Contact Area</i>	Зіборов К.А., Дитюк В.Е., Агарков Д.А. <i>Механічні властивості поверхневого шару матеріалів фрикційної пари колесо-рейка з урахуванням теплофізичних процесів в зоні контакту при передачі руху тертям</i>	59
Ziborov K.A., Pismenkova T.O., Tsonda M. <i>Engineering of Crankshaft Suspension Support of Revolver Type</i>	Зіборов К.А., Письменкова Т.О., Цонда М. <i>Інженіринг опори ковзання колінчастого валу преса револьверного типу</i>	66
Karpukhin S., Pakhomova S., Unchikova M. <i>Research of the Structure And Properties of High -Strength Alloys in the Educational Process</i>	Карпухин С.Д., Пахомова С.А., Унчикова М.В. <i>Исследование структуры и свойств высокопрочных сплавов в рамках образовательного процесса</i>	75



<i>Lytvyniak Yaroslav, Yurchyshyn Igor</i>	<i>Литвиняк Я.М., Юрчишин І.І.</i>	83
<i>Application of Assembly Gear Hobs With Carbide Inserts by the Diminished Pressure Angle for The Gear Hobbing of the Cylindrical Gears by the Large Modules</i>	<i>Застосування збірних черв'ячних фрез із твердосплавними зубцями зменшеного кута профілю для зубофрезерування циліндричних зубчастих коліс великих модулів</i>	
<i>Mischuk Dmytro, Balaka Maxim, Boychenko Andriy</i>	<i>Міщук Д.О., Балака М.М., Бойченко А.В.</i>	86
<i>Calculation of the Main Parameters and Operating Modes for Equipment With a Screw Working Body</i>	<i>Розрахунок основних параметрів та режимів роботи обладнання з гвинтовим робочим органом</i>	
<i>Nikiforov Andrey</i>	<i>Никифоров А.Н.</i>	94
<i>Contact Stiffness of Rotor/Stator Surfaces and Radial Stiffness of Bearing</i>	<i>Контактная жесткость роторной/статорной поверхности и радиальная жесткость подшипника качения</i>	
<i>Pakhomova S., Fakhurtdinov R.</i>	<i>Pakhomova S., Fakhurtdinov R.</i>	102
<i>Improving the Performance Properties of Gears for Mining Equipment</i>	<i>Улучшение эксплуатационных свойств колес для горного оборудования</i>	
<i>Protsiv Vladimir, Juravel Alex, Nedelsky Alexander</i>	<i>Процив В.В., Журавель А.Ю., Недельский А.Г.</i>	109
<i>Improving the Quality of Mineral Raw Materials When Exploiting Complex Structural Deposits of Useful Mining in Underground Method</i>	<i>Повышение качества минерального сырья при отработке сложно-структурных месторождений полезных ископаемых подземным способом</i>	

<i>Savelieva T.S., Tsonda M.S., Shvyryd O.S.</i>	<i>Савельєва Т.С., Цонда М.С., Швирид О.С.</i>	113
<i>Improvement of Bridge Crane Operating Characteristics on the Choice Opportunity of Optimal Wheel Profile</i>	<i>Поліпшення експлуатаційних характеристик мостового крана за рахунок вибору оптимального профілю ходового колеса</i>	
<i>Fedoskin V.A., Erisov N.N., Kornilenko K.I.</i>	<i>Федоскин В.А., Ерисов Н.Н., Корниленко К.И.</i>	120
<i>Prospects for Application of Rubber Sites for Dry Separation of Fine-Grained Materials</i>	<i>Перспективы применения резиновых сит для сухой сепарации мелкозернистых материалов</i>	
<i>Franchuk V.P., Ziborov K.A., Tverdochleb O.M.</i>	<i>Франчук В.П., Зіборов К.А., Твердохліб О.М.</i>	123
<i>Engineering of Crankshaft Suspension Support of Revolver Type</i>	<i>Тягова здатність локомотива з індивідуальним та груповим приводом</i>	
<i>Kholodniak Yuri, Kaporovych Svitlana, Korotenko Yevgen</i>	<i>Холодняк Ю.С., Капорович С.В., Коротенко Е.Д.</i>	130
<i>Force Calculation of Flat Trusses Using a Simplified Two- Dimensional Model of Forced Oscillations</i>	<i>Силовой расчёт плоских ферм с использованием упрощённой двумерной модели вынужденных колебаний</i>	
<i>Shatov S.V., Matsyk I.M., Shlyakhov E.M.</i>	<i>Шатов С.В., Мацюк І.Н., Шляхов Е.М.</i>	140
<i>The Creation of Lightweight Designs of Closed Gears</i>	<i>Про створення полегшених конструкцій закритих зубчастих передач</i>	



*Transport Technologies and Equipment**Транспортные технологии и оборудование*

<i>Cheberyachko Serhiy, Deryugin Oleg, Dotsenko Viktoriya</i>	<i>Чеберячко С.І., Дерюгін О.В., Доценко В.А.</i>	144
<i>Improvement of the Transport and Technological Scheme of Transport of Metal Products (On the Example of the Metallurgical Enterprise 'Mk Azovstal')</i>	<i>Удосконалення транспортно- технологічної схеми перевезення металопрокату (на прикладі металургійного підприємства МК «Азовсталь»)</i>	МК
<i>Bas Konstantin, Krivda Vitaly Certification of Vehicle Transport</i>	<i>Бас К.М., Кривда В.В. Сертифікація автомобільного транспорта</i>	153

*Resource and Energy Saving Technologies and Materials**Ресурсо - и энергосберегающие технологии и материалы*

<i>Van E. Y., Gradov A. E., Ilyina E. A. Research of the Influence of Colloidal Solution of Silver Nanoparticles on the Emf of the Jacobi-Daniel Electrical Element</i>	<i>Ван Е.Ю., Градов А.Е., Ильина Е.А. Изучение влияния золя nanoчастин серебра на ЭДС гальванического элемента Якоби-Даниэля</i>	159
<i>Kalgankov Ye.V. Rubber Lining and Its Place in the Disinstallation of Mineral Raw Materials</i>	<i>Калганков Е.В. Гумова футеровка та її місце у дезінтеграції мінеральної сировини</i>	168
<i>Oliynyk Tatiana, Skliar Lyudmila, Kushniruk Natalia Rationale for the Introduction of Fine Coagulation in the Enrichment Technology of Magnetite Quartzites</i>	<i>Олійник Т.А., Скліар Л.В., Кушнірук Н.В. Обґрунтування впровадження тонкого грохочення в технологію збагачення магнетитових кварцитів</i>	173

*Automation and Mechanization Energy Supply**Автоматизация, энергообеспечение и механизация*

Pustovetov Mikhail <i>Sine-Wave Filter for Increased Frequency of Voltage: Features of Characteristics and Usage</i>	Пустоветов М.Ю. <i>Синус-фильтр напряжения повышенной частоты: особенности характеристик и использования</i>	177
--	--	------------

*Informational Technologies of Design, Modeling, Design, Modern WEB-technologies**Информационные технологии проектирования, моделирования, дизайна, современные WEB-технологии*

Verner Ilya, Tverdohleb Alexander, Dytiiuk Viktoriia <i>Analysis of Renderer Systems in Autodesk 3D Max</i>	Вернер І.В., Твердохліб О.М., Дитюк В.Е. <i>Аналіз систем візуалізації сцен в Autodesk 3D MAX</i>	188
---	---	------------

Vorontsov A.A., Gvozdeva I.G. <i>Complex of Programs for Research of the Design of the Primary Transducer of the Two-Ordinate Magnetostriction Converter of Angular Movements</i>	Воронцов А.А., Гвоздєва І.Г. <i>Комплекс програм для исследования конструкции первичного преобразователя двухкоординатного магнитострикционного преобразователя угловых перемещений</i>	196
---	---	------------

Vorontsov A.A., Nazarenko A.V. <i>Research of the OZ-Axis Projection of the Magnetic Field Strength of the Solenoid in the Designs of Magneto-Strict Converters of Angular Displacements</i>	Воронцов А.А., Назаренко А.В. <i>Исследование проекции на ось OZ напряженности магнитного поля соленоида в конструкциях магнитострикционных преобразователей угловых перемещений</i>	206
--	--	------------

Vorontsov A.A., Nazarenko D.S.	Воронцов А.А., Назаренко Д.С.	211
<i>Modeling of a Magnetic System of Structures of Two-Dimensional Magnetostriction Converters of Angular Movements</i>	Моделирование магнитной системы конструкций двухкоординатных магнитострикционных преобразователей угловых перемещений	
Vorontsov A.A.	Воронцов А.А.	218
<i>To the Question of Use of Anglomeres in the Systems of Security of Construction of Construction Works</i>	К вопросу использования углеродных в системах обеспечения безопасности строительных работ	
Vorontsov A.A.	Воронцов А.А.	222
<i>Research of Surface Effect in Magnetostriction Converters of Linear and Angular Movements</i>	Исследование поверхностного эффекта в магнитострикционных преобразователях линейных и угловых перемещений	
Vorontsov A.A., Shachnev V.N.	Воронцов А.А., Шачнев В.Н.	227
<i>Research of Increasing Computer High Speeds in Networks Using Private Clouds</i>	Исследование повышения быстродействия компьютеров в сетях с использованием частных облаков	
Kulyabko Vladimir	Кулябко В.В.	236
<i>Use of Dynamic Characteristics at Formationing, Designing and Diagnostics Complex Constructions, Bases and Flows</i>	Использование динамических характеристик при формообразовании, конструировании и диагностике сложных сооружений, массивов и сред	
Loginova Anastasiia	Логінова А.О.	245
<i>Artistic Modeling and Formation of Complex Objects</i>	Художнє моделювання і формування комплексних об'єктів	

Martyshkin A.I., Ilyichov D.E. <i>Overview and Analysis of General-Purpose Operating System Families and Their Capabilities</i>	Мартышкин А.И., Ильичов Д.Э. Обзор и анализ семейств операционных систем общего назначения и их возможностей	248
Martyshkin A.I. <i>Module for Forced Process Dispatching for General-Purpose Operating Systems</i>	Мартышкин А.И. Модуль принудительной диспетчеризации процессов для операционных систем общего назначения	256
Martyshkin A.I., Ilyichov D.E. <i>Description of the Concept and Structure of the System and Its Components</i>	Мартышкин А.И., Ильичов Д.Э. Описание понятия и структуры системы и ее компонентов	260
Martyshkin A.I., Ilyichov D.E. <i>Review and Analysis of Various Approaches to Model Classification</i>	Мартышкин А.И., Ильичов Д.Э. Обзор и анализ различных подходов к классификации моделей	266
Martyshkin A.I., Trokoz D.A. <i>Overview of Automatic Programming Methods</i>	Мартышкин А.И., Трокоз Д.А. Обзор методов автоматного программирования	273
Martyshkin A.I. <i>Analysis of the Most Promising Algorithms for Planning Real-Time Operating Systems</i>	Мартышкин А.И. Анализ наиболее перспективных алгоритмов планирования операционных систем реального времени	278
Pavlychenko Artem, Matsyuk Iryna <i>Peculiarities of Teaching Engineering and Computer Graphics to Students in Environmental Education Profile in Dnipro University of Technology</i>	Павличенко А.В., Мацюк І.М. Особливості викладання інженерної та комп’ютерної графіки для здобувачів освіти природоохоронного профілю у НТУ «Дніпровська Політехніка»	287

<i>Slesarev Yu.N., Salamatin A.N.</i>	<i>Self-Consistent Dynamic Model of Magnetostriction Movement Magnetization</i>	<i>Слесарев Ю.Н., Саламатин А.Н.</i> Самосогласованная динамическая модель намагничивания волновода магнитострикционного преобразователя угловых перемещений	294
<i>Slesarev Yu.N., Salamatin A.N.</i>	<i>Study of the Magnetic Field Tension of Continuous Constant Magnets of Magnetostriction Converters of Linear or Angular Movements</i>	<i>Слесарев Ю.Н., Саламатин А.Н.</i> Исследование напряженности магнитного поля сплошных постоянных магнитов магнитострикционных преобразователей линейных или угловых перемещений	300
<i>Slesarev Yu.N., Salamatin A.N.</i>	<i>Study of the Magnetic Field Strength of the Ring Permanent Magnets of Magnetostriction Converters of Linear or Angular Movements</i>	<i>Слесарев Ю.Н., Саламатин А.Н.</i> Исследование напряженности магнитного поля кольцевых постоянных магнитов магнитострикционных преобразователей линейных или угловых перемещений	307
<i>Slesarev Yu.N., Salamatin A.N.</i>	<i>Modeling of a Magnetic System of Acoustic Treatment of a Magnetostriction Converter of Angular Movements</i>	<i>Слесарев Ю.Н., Саламатин А.Н.</i> Моделирование магнитной системы акустического тракта магнитострикционного преобразователя угловых перемещений	312
<i>Slesarev Yu.N.</i>	<i>To the Question of Determining The Angle Tilt of the Plane of a Two-Order Magnetostriction Converter of Angular Movements Regarding the Horizontal Plane</i>	<i>Слесарев Ю.Н.</i> К вопросу определения угла наклона плоскости двухкоординатного магнитострикционного преобразователя угловых перемещений относительно горизонтальной плоскости	318

Slesarev Yu.N. <i>Research of Magnetic Field Tension Near the Bases Of Permanent Magnets of Cylindrical Form in Magnetic Striction Converters of Angular Movements</i>	Слесарев Ю.Н. <i>Исследование напряженности магнитных полей вблизи оснований постоянных магнитов цилиндрической формы в магнитострикционных преобразователях угловых перемещений</i>	324
Telipko Alexander, Verner Ilya, Patsera Sergiy <i>Simulation of Milling Cells in Shell Through the Cam Module Compas-3D V18</i>	Теліпко О.М., Вернер І.В., Пацера С.Т. <i>Моделювання фрезерування карманів в оболонці за допомогою сам-модуля програми Компас-3D v18</i>	330
Kholodniak Yuri, Kostikov Alexander, Kaporovych Svitlana <i>Software Development for Simplified Methods of Calculating the Strength of I-Beams</i>	Холодняк Ю.С., Костиков А.А., Капорович С.В. <i>Разработка компьютерных программ для упрощённой методики расчёта на прочность двутавровых балок</i>	338

Applied Geometry, Engineering Graphics, Ergonomics, Life Safety
Прикладная геометрия, инженерная графика, эргономика и
безопасность жизнедеятельности

Savelieva Tamara, Pustovoi Dmytro, Demyanik Tatyana <i>Solid-State Simulation Usage in the Autocad for the Visualization of Surfaces Intersection Line</i>	Савельева Т.С., Пустовой Д.С., Демянник Т.В. <i>Применение твердотельного моделирования в Autocad для визуализации линии пересечения поверхностей</i>	347
Tokarev Vladimir <i>Intense Training of Students at the First Year According to Engineering Graphics</i>	Токарев В.А. <i>Интенсивная подготовка студентов на первом курсе по инженерной графике</i>	352

<i>Cheberyachko Serhiy, Deryugin Oleg, Tretyak Olena Developing a Training Program for Ergonomic Analysis of Working Conditions</i>	Чеберячко С.І., Дерюгін О.В., Третяк О.О. Розробка навчальної програми для ергономічного аналізу умов праці	360
---	---	------------

Information Technology in Education
Информационные технологии в образовании

<i>Korniichuk Olena Mathematical Modeling of Electromagnetic Oscillations</i>	Корнійчук О.Е. Математичне моделювання електромагнітних коливань	371
---	--	------------

Humanities Education Issues
Гуманитарные проблемы образования

<i>Ziborov K.A., Pismenkova T.O., Fedoriachenko S.O. Competence Approach in the Training of Master's (Bachelor's) for Designing Problems Solving</i>	Зіборов К.А., Письменкова Т.О., Федоряченко С.О. Компетентнісний підхід у рамках підготовки магістрів (бакалаврів) для вирішення завдань дизайн-проектування	377
--	---	------------

<i>Matsyuk Irina, Shlyakhov Eduard Contents and Methods of Practical Training in the Technical Bionics Course</i>	Мацюк І.М., Шляхов Е.М. Зміст і методика проведення практичних занять з курсу "технічна біоніка"	381
---	---	------------

<i>Olishevskva V.E., Nedaivoda T.O. Publication Competence Students</i>	Олишевская В.Е., Недайвода Т.А. Публикационная компетентность студентов	387
---	---	------------

<i>Pismenkova T.O., Ziborov K.A., Verner I.V. Communicative Design as a Tool of Soft Skills Formation</i>	Письменкова Т.О., Зіборов К.А., Вернер І.В. Комунікативний дизайн як інструмент формування Soft Skills	395
---	--	------------

<i>Podlesny Sergey, Kholodniak Yuri, Kaporovych Svitlana Integrative Training of Future Engineers</i>	<i>Подлесний С.В., Холодняк Ю.С., Капорович С.В. Інтегративна підготовка майбутніх інженерів</i>	401
<i>Authors Index</i>	<i>Авторский указатель</i>	411
<i>About the Conference Organizers</i>	<i>Организаторы конференции</i>	413

УДК 622.271.332:550.835(470.21)

ГЕОРАДАРНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ВНУТРЕННЕЙ СТРУКТУРЫ И МОНИТОРИНГА ГОРНОТЕХНИЧЕСКИХ КОНСТРУКЦИЙ

А.И. Калашник¹, А.Ю. Дьяков², Д.В. Запорожец³

¹ ведущий научный сотрудник лаборатории Геофлюидомеханики, кандидат технических наук, e-mail: kalashnik@goi.kolasc.net.ru

² научный сотрудник, e-mail: dyakov@goi.kolasc.net.ru

³ научный сотрудник, e-mail: zaporojec@goi.kolasc.net.ru

^{1, 2, 3} Горный институт КНЦ РАН, г. Апатиты, Россия

Аннотация. В работе приведено обоснование георадарного оборудования, применяемого для исследования внутренней структуры и мониторинга горнотехнических конструкций на горнопромышленных предприятиях Кольского региона. Измерения выполнялись продольным и поперечным профилированием с использованием георадарного комплекса Ramac/GPR X3M, оснащенного экранированными антеннами. Интерпретация результатов базировалась на выявленных закономерностях искажения наведенного электромагнитного поля вследствие различия физических свойств пород основного массива и внутренних зон неоднородностей (разломная тектоника, участки повышенной трещиноватости и водонасыщенности). Показано, что интенсивность искажения волнового поля определяется контрастностью физических свойств пород и глубиной расположения зоны. Многочисленными исследованиями подтверждена целесообразность применения данного георадарного оборудования для решения ряда горнотехнических задач.

Ключевые слова: георадарное оборудование, горнотехнические конструкции, внутренняя структура, неоднородность, водонасыщение.

GPR EQUIPMENT FOR INTERNAL STRUCTURE RESEARCH AND MONITORING OF MINING STRUCTURES

Anatolii Kalashnik¹, Andrey Dyakov², Dmitry Zaporojec³

¹Leading Researcher of Geoflyuidomechanical laboratory, Ph.D., e-mail: kalashnik@goi.kolasc.net.ru

²Scientific Researcher, e-mail: dyakov@goi.kolasc.net.ru

³Scientific Researcher, mail: zaporojec@goi.kolasc.net.ru

^{1, 2, 3} Mining Institute KSC RAS, Apatity, Russia

Abstract. The paper describes the justification of georadar equipment used for research of internal structure and monitoring of mining structures at mining enterprises of Kola region. Measurements were performed by longitudinal and transverse profiling using Ramac/GPR X3M georadar complex equipped with screened antennas. The interpretation of the results was based on the detected patterns of distortion of the induced electromagnetic field due to the difference between the physical properties of the rocks of the main massif and the internal zones of inhomogeneity's (fault tectonics, areas of increased fracturing and

water saturation). Intensity of wave field distortion is shown to be determined by contrast of physical properties of rocks and depth of zone location. Numerous studies have confirmed the feasibility of using this georadar equipment to solve a number of mining problems.

Keywords: georadar equipment, mining structures, internal structure, heterogeneity, water saturation.

Введение. Ведение горных работ при разработке полезных ископаемых, строительство и эксплуатация глубоких карьеров и подземных рудников, выдвигают особые требования к устойчивому и функциональному состоянию горнотехнических конструкций. Своевременное выявление внутренних структурных неоднородностей пород (зоны трещиноватости, тектонические нарушения, раздробленные и обводненные зоны) играет важную роль в выборе рациональной и безопасной технологии ведения горных работ. В настоящее время активно развиваются неразрушающие (в основном геофизические) методы изучения структуры и состояния горнотехнических конструкций, среди которых необходимо выделить георадиолокационные (электромагнитные) и сейсмические [1]. Вместе с тем георадиолокационные методы, в сравнении с другими геофизическими, для решения горнотехнических задач являются относительно новыми и носят инновационный характер [2-6].

Цель работы. Методы георадиолокационного (в публикациях по горным наукам - георадарного) подповерхностного исследования горнотехнических конструкций основаны на изучении распространения наведенных электромагнитных волн в слагающих конструкции породах [3-5]. Идея заключается в излучении импульсов электромагнитных волн и регистрации сигналов, отраженных от границ раздела слоев и зон зондируемых пород, имеющих различные электрофизические свойства. Такими границами раздела в исследуемых породах являются, например, контакт между сухими и водонасыщенными грунтами (уровень подземных вод), контакты между породами различного литологического состава, между породой и материалом искусственного сооружения, между мерзлыми и талыми грунтами, между коренными и раздробленными породами и т.п. Вместе с тем постоянное и интенсивное ведение горных работ (бурение, взрывание, погрузка, транспортирование, и др.) вызывает различного рода помехи, приводящие кискажению результатов исследований [7-8]. Целью данной работы являлось обоснование применения для исследования внутренней структуры и мониторинга горнотехнических конструкций на действующих горнопромышленных предприятиях георадарного комплекса Ramac/GPR X3M, оснащенного экранированными антеннами.

Результаты исследования. Наиболее важными параметрами, характеризующими возможности применения метода георадиолокации в горнотехнических конструкциях, являются удельное затухание и скорость распространения электромагнитных волн в слагающих их породах. Удельное затухание определяет глубинность зондирования, а знание скорости распространения электромагнитных волн необходимо для пересчета измеряемого значения временной задержки отраженного импульса в расчетное значение глубины до отражающей границы.

Принцип действия аппаратуры подповерхностного георадарного зондирования (в принятой терминологии - георадара) основан на излучении сверхширокополосных (наносекундных) импульсов метрового и дециметрового диапазона электромагнитных волн и приеме сигналов, отраженных от границ раздела слоев зондируемых пород, имеющих различные электрофизические свойства [9-11].

Применение импульсов различного диапазона электромагнитных волн обусловлено выбором глубинности и необходимой разрешающей способности исследования (минимальный размер отражающего объекта или его компонентов). Разрешающая способность определяется длиной волны, которая прямо пропорциональна скорости и обратно пропорциональна частоте электромагнитных волн в массиве скальных пород. При понижении частоты уменьшается разрешающая способность, но увеличивается глубинность исследований. Например, для скальных пород глубинность георадарного зондирования антеннами 100-50 МГц составляет в среднем 30-40 м с разрешающей способностью 0,25-0,5 м, а для антенн 800-500 МГц разрешающая способность составит 0,05-0,1 м при глубине зондирования 5-15 м [8,11].

Диэлектрическая проницаемость, влияющая на скорость прохождения электромагнитных волн, является ключевым параметром для георадарных исследований, так как отраженные сигналы электромагнитных волн возникают на границах сред с разными скоростями. Для исследования массивов скальных пород и грунтов это границы между сухими и водонасыщенными породами (уровень подземных вод), контакты между породами различного литологического состава, между породой и материалом искусственного сооружения, между ненарушенными и нарушенными (раздробленными) породами [11].

В последнее время существенно возросло число новаций в камеральной обработке георадарных данных, прежде всего, связано с реализацией 3-х мерных систем [6,10,12,13]. Уделено большое внимание повышению информативности и точности оценки строения массива пород на основе совершенствования алгоритмов обработки данных с использованием ме-

тодов статистического анализа, процедур вейвлет-анализа, а так же оптимизации параметров площадных георадарных исследований.

Для исследования внутренней структуры и мониторинга горнотехнических конструкций на действующих горнодобывающих предприятиях, в экспериментальных условиях, был протестирован георадарный комплекс Ramac GPR/X3M (производства компании Mala GeoScience, Швеция), к характерным особенностям которого следует отнести: модульность, экранированные антенны, высокое качество, оперативность получаемых данных и возможность привязки к GPS [6,7].

Рабочий комплект георадарного комплекса (далее – георадара) Ramac GPR/X3M включает в себя: блок управления X3M, антенны и внешний персональный компьютер или специализированный модуль управления и визуализации (монитор Ramac XV10), который обрабатывает принятый сигнал и отображает полученные данные на дисплее (рис.1.).

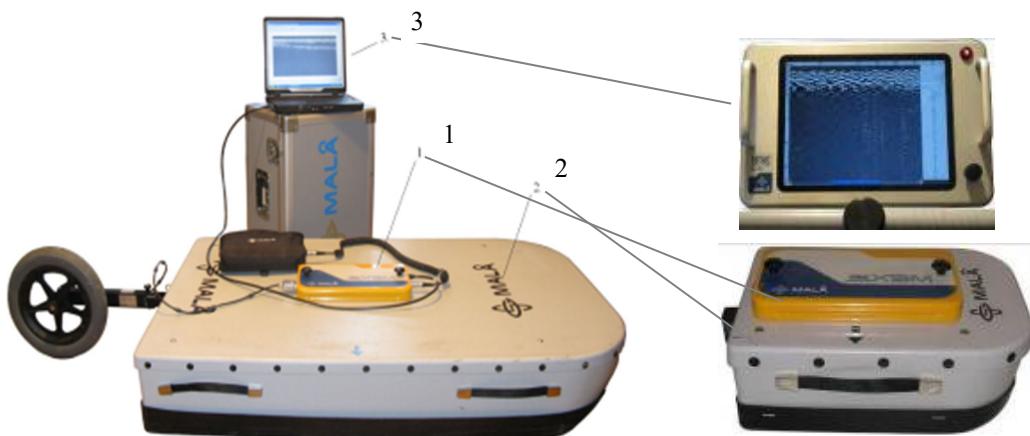


Рисунок 1 - Георадарный комплекс Ramac GPR/X3M: 1 - блок управления X3M; 2 - экранированные антенны; 3 - внешний ноутбук (слева) и специализированный модуль управления и визуализации монитор Ramac XV10 (справа)

Технические характеристики блока управления X3M георадара Ramac GPR/X3M приведены в таблице 1.

Существенным достоинством георадара Ramac GPR/X3M является комплектование экранированными антеннами. Экранированный тип антенн отличается от неэкранированных тем, что большая часть энергии излучается только в нижнюю полусферу пространства, то есть в исследуемые породы. То же самое относится и к принимаемым сигналам – но несомненным преимуществом экранированных антенн является то, что они

слабо чувствительны к электромагнитным волнам, пришедшим из пространства над антенной (иначе говоря - к помехам).

Таблица 1 - Технические характеристики блока управления ХЗМ георадара Ramac GPR

Разрядность, бит	16
Временной интервал зондирования, нс	до 2000
Количество точек в трассе	128-8192 (1024 в режиме автонакопления)
Скорость передачи данных, Кб/с	40-400
Частота повторения импульсов передатчика, кГц	100
Передача данных	IEEE 1284(ECP)
Количество накоплений	1-32768
Режимы регистрации данных	По времени, по перемещению, по шагам
Привязка данных на местности	С помощью датчиков перемещения, GPS или вручную
Поддерживаемые антенны	Экранированные антенны 100-800МГц
Питание, В	12 Li-Ion аккумулятор
Размеры, мм	310x180x30
Вес, кг	1,7
Рабочая температура, °С	-20 +50
Пылевлагозащита	IP 67

Экранированные антенны георадара Ramac GPR/X3M содержат передающий и приемный элементы в едином корпусе. Приемный элемент находится в передней части, а передающий – в задней части корпуса. Технические характеристики антенн георадара Ramac GPR/X3M представлены в таблице 2.

Георадар Ramac GPR/X3M работает следующим образом: блок управления ХЗМ посылает синхронизирующий сигнал передающему и приемному модулям. После получения сигнала передатчик генерирует и посыпает электрический импульс в antennу. От антены импульс распространяется в изучаемую среду, в ней он отражается от различных неоднородностей и возвращается к антенне (к приемнику).

Таблица 2 - Технические характеристики антенн георадара Ramac GPR/X3M

Описание	Частота зондирования, МГц	Средняя разрешающая способность, м	Диапазон рабочих глубин, м	Размеры, м. Вес, кг.
Антенна экранированная 100 МГц	100	0,25	0-30	1,25×0,78×0,2 25,5
Антенна экранированная 500 МГц	500	0,1	0-8	0,5×0,33×0,16 5
Антенна экранированная 800 МГц	800	0,05	0-3	0,38×0,2×0,12 2,6

Приемник после получения синхронизирующего сигнала начинает накапливать выборки с определенной периодичностью по времени и передавать их блоку управления X3M. Блок управления X3M помещает каждую поступающую выборку на соответствующее место в данной трассе. Когда трасса будет полностью сформирована, она посыпается на компьютер, где сохраняется на жестком диске компьютера и отображается на мониторе.

При проведении съемки георадар перемещается по размеченному профилю наблюдения, излучая импульсы, получая и записывая трассы с определенным заданным шагом: по расстоянию или по времени. В результате получается непрерывный профиль - запись подповерхностной волновой картины по профилю наблюдения, называемая радарограммой.

По результатам георадарной съемки, с использованием специальных процедур обработки программного продукта «RadExplorer» (производства ООО «ДЕКО-Геофизика»), строятся временные разрезы (радарограммы), на которых по горизонтали указывается расстояние в метрах, а по вертикали – время двойного пробега волны. Волновая картина радарограммы представляет собой совокупность записей сигналов (трасс), пришедших к приемной антенне в интервал времени от начального момента посылки зондирующего импульса до конца интервала записи (развертки). Начальные точки трасс располагаются на горизонтальной оси с тем шагом, с которым они были записаны на профиле.

Задачей интерпретации радарограмм являлось выделение, и прослеживание осей синфазности отраженных волн от различных границ раздела (отражающих границ) и их сопоставление с горно-геологическими особенностями разреза. Признаками, по которым объект распознавался на рада-

rogrammakh в процессе интерпретации, служили различные характеристики волнового поля (участки с различными типами записи).

Для преобразования временного разреза в глубинный возможно использовать два способа определения диэлектрической проницаемости и скорости электромагнитной волны в массиве пород в полевых условиях, так называемое “*in situ*” – на месте [12]. В традиционном исполнении «антенна-излучатель» и «антенна-приемник» осуществляется по гидографу дифрагированной волны - условно называется способом гипербол, и применим, когда на радарограмме отчетливо проявляются волновые эффекты в виде гипербол. Этот способ позволяет получить значения диэлектрической проницаемости и скоростные характеристики разреза с определенной погрешностью (в пределах разрешающей способности применяемых антенн). Второй способ по гидографу отраженной волны - способ оценки скоростей может быть реализован по данным многоканальных измерений или одноканальных радаров, работающих с изменяемым расстоянием между передающей и приемной антеннами (построение гидографа задержки сигнала). Определение диэлектрической проницаемости и скоростной модели разреза этим методом осуществляется путем последовательного проведения измерений. В свою очередь, использование двух и более комплексов георадиолокации, отличающихся способами получения информации, весьма затратное, ввиду их высокой аппаратной стоимости. Таким образом, имея в своем распоряжении только экранированные антенны, где приемник и передатчик находятся в едином корпусе, использовалось вычисление скоростей в разрезе по гидографу дифрагирующей волны.

Выводы. Приведено обоснование георадарного оборудования Ramac/GPR X3M, оснащенного экранированными антennами, применяемого для исследования внутренней структуры и мониторинга горнотехнических конструкций на горнопромышленных предприятиях Кольского региона. Георадарные измерения выполнялись продольным и поперечным профилированием на исследуемых участках. Интерпретация результатов базировалась на выявлении закономерностей искажения наведенного электромагнитного поля вследствие различия физических свойств пород основного массива и внутренних зон неоднородностей (разломная тектоника, участки повышенной трещиноватости и водонасыщенности). Показано, что интенсивность искажения волнового поля определяется контрастностью физических свойств пород и глубиной расположения зоны. В частности, выявленные особенности геологического-структурного строения скального массива на уступах карьера позволяют выполнить подбор рациональных параметров буровых, взрывных и экскаваторных работ, оптимально учи-

тывающих эти особенности, и позволяющие обеспечить максимально возможное равномерное дробление горной массы для последующих технологических этапов ее обработки. Многочисленными исследованиями подтверждена целесообразность применения данного георадарного оборудования для решения ряда горнотехнических задач.

ЛИТЕРАТУРА

1. Abramov N.N. Identification of water-saturated zones in a protective hydraulic earthen structure by synchronous electromagnetic and seismic sounding / Abramov N.N., Dyakov A.Yu., Kalashnik A.I.// Power Technology and Engineering, 2019. – Т. 53– № 2– С. 167-171.
2. Мельников Н.Н. Инновационные георадарные технологии изучения подповерхностной структуры и состояния природно-технических систем / Мельников Н.Н., Калашник А.И. // Вестник КНЦ, 2010. - №3. – С.4-8.
- 3 Калашник А.И. Подповерхностное георадарное зондирование горно-геологических сред Кольского полуострова / Калашник А.И., Запорожец Д.В., Дьяков А.Ю., Демахин А.Ю.// Вестник МГТУ: Тр. Мурман. гос. тех. университета, 2009. –т.12. - №4. – С.576-583.
4. Javier Rey Characterization of the sedimentary fabrics in ornamental rocks by using GPR / Javier Rey, Julián Martínez, Violeta Montiel, Francisco Cañadas, Nicolás Ruiz // Near Surface Geophysics 15(5), 2017, – Pages 457-465
5. Allen Benter GPR signal attenuation through fragmented rock / Allen Benter, Wayne Moore, Michael Antolovich Transactions of the Institution of Mining and Metallurgy, 2016 – Section A: Mining Technology. – Volume 125. – Issue 2. – Pages 114-120
6. Мельников Н.Н. Применение современных методов для комплексных исследований состояния гидротехнических сооружений региона Баренцева моря / Мельников Н.Н., Калашник А.И., Калашник Н.А., Запорожец Д.В. // Вестник МГТУ, 2017. – Т. 20. – № 1. С. – 13-20.
7. Мельников Н.Н. Опыт применения георадарных подповерхностных исследований в западной части российского сектора Арктики / Мельников Н.Н., Калашник А.И., Запорожец Д.В., Дьяков А.Ю., Максимов Д.А. //Проблемы Арктики и Антарктики. – 2016. - № 1. – С.39-49.
8. Калашник А.И. Исследования георадарами структуры и текущего состояния горных пород, слагающих уступы основного карьера Ковдорского ГОКа / Калашник А.И., Запорожец Д.В., Дьяков А.Ю., Казачков С.В., Сохарев В.А. // Горный журнал. – 2014. – № 4. – С.60-64.
9. Мельников Н.Н. Создание многоуровневой системы геодинамического мониторинга горнотехнических и нефтегазовых объектов западной части российского сектора Арктики / Мельников Н.Н., Калашник А.И. // Арктика: экология и экономика. – 2015. - № 3 (19). – С.66-75.
10. Калашник А.И. Исследования ограждающего насыпного гидротехнического сооружения как прототипа дамбы хвостохранилища горно-обогатительного предприятия / Калашник А.И., Калашник Н.А. //Вестник КНЦ. – 2013. - № 1. – С. 27-30.

-
11. Калашник А.И., Казачков С.В., Сохарев В.А., Запорожец Д.В., Дьяков А.Ю. Выявление дислокаций в скальных горнотехнических конструкциях //Вестник МГТУ: Тр. Мурман. гос. тех. университета. – 2013. – Т.16. - № 1. – С. 93-97.
 12. Mohamed Elkarmotya In-situ GPR test for three-dimensional mapping of the dielectric constant in a rock mass / Mohamed Elkarmotya, Camilla Colla, Elena Gabrielli, Paolo Papeschi, Stefano Bonduà, Roberto Bruno // Journal of Applied Geophysics, 2017. – Volume 146. – Pages 1-15
 13. Melnikov N.N., Kalashnik A.I., Kalashnik N.A. Integrated multi-level geofluid mechanics monitoring system for mine waterworks / Melnikov N.N., Kalashnik A.I., Kalashnik N.A. // Eurasian Mining. – 2018.– №2. – С.7-10.

УДК 622.831.3:622.34

ГЕОМЕХАНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ РАЗРАБОТКИ РУДНЫХ ПЛАСТОВ В ТЕКТОНИЧЕСКИ НАПРЯЖЕННЫХ ПОРОДАХ

А.И. Калашник

ведущий научный сотрудник лаборатории Геофлюидомеханики, канд. техн. наук, Горный институт КНЦ РАН, Апатиты, Россия, e-mail: kalashnik@goi.kolasn.net.ru

Аннотация. В работе изложены результаты исследования, направленного на обоснование методического подхода к геомеханическому обеспечению разработки рудных пластов в тектонически напряженных породах. Концепция методического подхода заключается в том, что в структуре взаимосвязи геомеханики и технологии подземных горных работ выделяются шесть основных этапов, отражающих жизненный цикл разработки рудного месторождения: разведка, доразведка и вскрытие, опытно-промышленные работы, эксплуатация, неполная подработка, полная подработка, консервация. Показано, что сложность геомеханического обоснования возрастает кратно в случае, когда месторождение представлено свитой рудных тел и располагается в тектонически напряженном массиве скальных пород. Выполнено обоснование и даны геомеханические рекомендации для условий совместной отработки двух рудных пластов в условиях действия тектонических сил, регламентирующие порядок и последовательность ведения горных работ.

Ключевые слова: геомеханика, подземная разработка, рудные пласти, тектонически напряженные породы.

GEOMECHANICAL ENSURING OF MINING DEVELOPMENT OF TECTONIC STRESSED ORE LAYERS

Anatoly Kalashnik

Leading Researcher of Geoflyuidomechanikal Laboratory, Ph.D., Mining institute KSC RAS, Apatity, Russia, e-mail:kalashnik@goi.kolasn.net.ru

Abstract. In paper results of the research directed to justification of methodical approach to geomechanical ensuring development of ore layers in tectonic stress rock are explained. The concept of methodical approach is that in structure of interrelation of geomechanics and technology of underground mining operations seven main stages reflecting life cycle of development of the ore field are allocated: investigation, additional exploration and opening, trial works, operation, incomplete side job, the complete side job, preservation. It is shown that the complexity of geomechanical justification increases multiply in case the field is presented by suite of ore bodies and is located in tectonic stress rock massive. Justification is executed and the geomechanical recommendations for conditions of collateral working off two ore layers in the conditions of action of tectonic forces regulating an order and the sequence of conducting mining operations are made.

Keywords: geomechanics, underground mining, ore layers, tectonic stress rock.

Введение. Общая концепция развития геомеханического обоснования разработки рудных пластовых месторождений в тектонически напряженном массиве пород основана на предпосылках постоянного углубления горных работ, возрастании удароопасности, изменении интенсивности добычи при различных горно-геологических условиях, увеличении научекомкости горного производства и повышении требований к информационному обеспечению управления горным давлением [1, 2]. Широкое использование компьютеров и цифровых технологий должно привести к ситуации, когда возможно будет оперативно иметь необходимую информацию, осуществлять прогнозные расчеты, посредством телеметрических средств вести мониторинг и на этой основе знать где, когда и какие горные работы приведут к тем или иным изменениям в геодинамическом состоянии породного массива, как это состояние будет изменяться в дальнейшем, и какие необходимы превентивные меры и технические мероприятия [3-5].

Цель работы. Информация о свойствах и состоянии пород и руд, геомеханических условиях ведения горных работ на различных рудниках, пластах, горизонтах, участках, технологических стадиях и процессах представляет интерес для специалистов различных служб рудников и, в целом, комбинатов. Как известно, главным условием эффективной и безопасной разработки месторождений полезных ископаемых является правильное понимание характера горно-геологических условий и тенденций их изменений в процессе ведения горных работ. Для этого необходимо, прежде всего, знание свойств и состояния горных пород и руд, слагающих массив, и особенностей структуры массива. На многих месторождениях в связи с увеличением глубины работ и повсеместным усложнением горнотехнических условий добычи необходимость в такой информации постоянно существует и, более того, увеличивается. Установлено, что при сооружении шахтных стволов, рудоспусков, тоннелей, проектировании и создании кон-

структур систем разработки месторождений полезных ископаемых своевременное получение достоверной и детализированной информации о состоянии массивов горных пород позволяет в общем случае в 2-3 раза повысить прочность и долговечность подземных конструкций и выработок, повысить безопасность горных работ и получить существенный экономический эффект [1]. Целью исследования является обоснование методического подхода к геомеханическому обеспечению разработки рудных пластов в тектонически напряженных породах.

Результаты исследования. Концепция методического подхода заключается в том, что в структуре взаимосвязи геомеханики и технологии подземных горных работ выделяются шесть основных этапов, отражающих жизненный цикл разработки рудных пластов [6] (рис. 1).

На первом этапе, в процессе проведения инженерно-геологических изысканий, обеспечивается получение первичной информации об основных горно-геологических и геомеханических факторах. На основе этой информации формируется представление о геомеханической модели массива и основных (укрупненных) ограничениях (рекомендациях) по геомеханике для месторождения. Эти данные должны служить основой для выбора способа отработки рудных пластов, схем вскрытия, порядка отработки, ориентировки основных выработок, класса систем разработки.

На втором этапе, при доразведке, вскрытии месторождения, проведении подготовительных и нарезных работ, в процессе эксплуатационной разведки требуется проведение геомеханических определений и изысканий с целью уточнения первичных геомеханических данных. На базе этих данных выполняется дифференциация массива по основным горно-геологическим и геомеханическим факторам и формируются детализированные (по участкам месторождения) ограничения по геомеханике. Это должно служить основой для выбора и конструирования систем (вариантов систем), определения безопасных параметров основных конструктивных элементов систем разработки (К.Э.С.Р.). Этот этап должен включать в себя проведение геомеханической экспертизы и выполнение опытно-промышленных работ. Здесь имеется в виду оценка прочности (прогноз устойчивости) и работоспособности принятых технологических схем и основных конструкций систем разработки с целью уточнения и оптимизации их параметров.

На третьем этапе, в процессе ведения горных работ, должно быть организовано исследование условий работы основных конструкций. В начальной стадии отработки месторождения, когда общий пролет подработки L значительно меньше глубины H ведения работ ($L \ll H$), в условиях так называемой «неполной подработки» - допустимо рассматривать

каждую конструкцию в отдельности (при прочих допущениях). На данном этапе формируются ограничения по геомеханике для конструктивных элементов систем разработки. На этой основе, и с учетом результатов и данных, полученных на третьем этапе, должна проводиться оперативная оптимизация (с позиций безопасности и надежности параметров основных элементов систем разработки и технологических процессов).

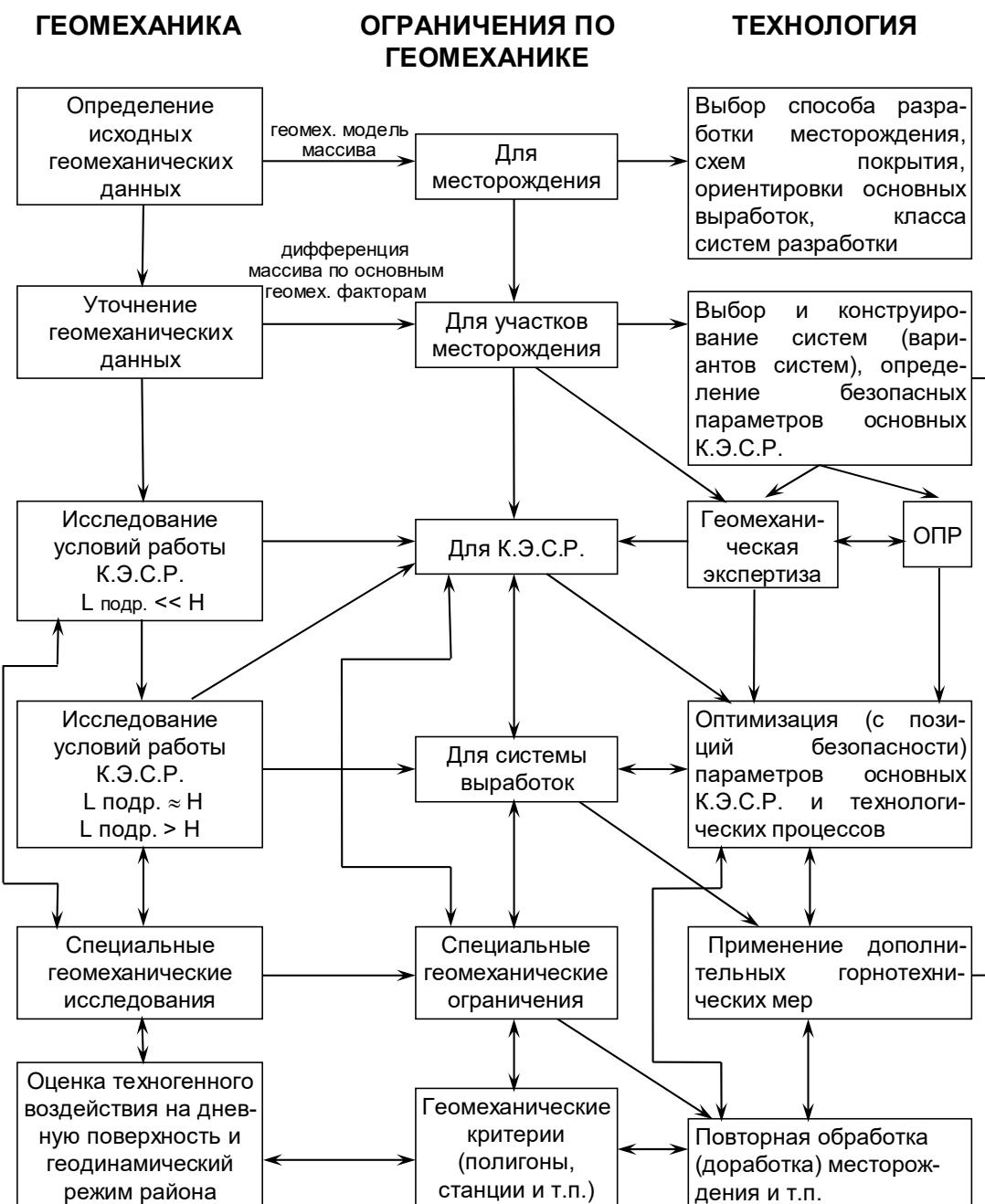


Рисунок 1 - Структура и взаимосвязи геомеханического обеспечения разработки рудных пластов

Дальнейшая эксплуатация месторождения приводит к условиям «полной подработки» ($L/H \geq 1$) массива пород (этап 4). В этих условиях все конструкции (целики, выработки, камеры, подработанный массив) работают как единая система. На данном этапе также необходимо геомеханическое сопровождение, в том числе исследование условий работы основных конструкций. Полученные данные и закономерности позволяют разработать ограничения (рекомендации) по геомеханике для этого этапа разработки месторождения, включающие применение дополнительных горнотехнических мер (например, для обеспечения устойчивости, снижения удароопасности основных элементов систем разработки, в очистном забое, погашение выработанного пространства и т.п.).

Пятый этап включает в себя проведение специальных геомеханических исследований. Практика отработки ряда месторождений, в том числе и Кольского полуострова, свидетельствует о том, что в результате выемки и перемещения больших масс горных пород в процессе добычи полезных ископаемых, происходит изменение геодинамического режима всего района [7]. В результате создаются условия для реализации мощных горных ударов, подземных толчков (горно-тектонических ударов), вплоть до техногенных землетрясений. Для проведения специальных исследований необходимо создание геодинамических полигонов, комплексных наблюдательных станций, многоуровневых систем контроля и мониторинга [3-5, 8]. На данном этапе разрабатываются специальные геомеханические ограничения (рекомендации), направленные на предотвращение крупных негативных последствий разработки месторождения (горно-тектонические удары и землетрясения). Это может также служить основой в случае повторной отработки (доработке) месторождения.

Шестой этап завершает геомеханическое сопровождение эксплуатации месторождения. После того, как добывочные работы на месторождении закончены, в процессе его консервации и рекультивации земель в подработанном массиве пород продолжаются геомеханические процессы, стремящиеся привести массив в равновесное состояние. Период их затухания может составлять десятки лет, в течение которых также возможны подземные толчки и техногенные землетрясения. В этот период необходим геомеханический контроль состояния массива в целях прогнозирования вышеуказанных явлений и своевременного принятия соответствующих мер.

Следует особо подчеркнуть, что сложность геомеханического обоснования возрастает кратно в случае, когда месторождение представлено свитой рудных тел в тектонически напряженном массиве скальных пород [9]. К вышеперечисленным основным факторам добавляются параметры

совместного залегания, в т.ч. мощность междупластья, степень технологической сближенности рудных тел и т.д.

Эффективная и безопасная отработка свиты пологопадающих рудных залежей в тектонически напряженном одноименном массиве пород в значительной степени зависит от правильного выбора и конструирования схем разработки залежей в свите, включающих последовательность и порядок их отработки, направление очистной выемки, взаимное расположение целиков, очистных и подготовительных выработок, регламентацию ведения работ по залежам в зоне их одновременной отработки и др. [9]. Условия разработки сближенных залежей осложняются тем обстоятельством, что отрабатываемые участки одновременно испытывают взаимное влияние. Ведение работ под (над) целиками, краевыми частями смежных залежей, обуславливающих формирование значительных нагрузок на несущие конструкции, как правило, осложняется повышенным вывалообразованием и динамическими проявлениями горного давления. Поэтому отработку залежей в свите необходимо осуществлять с применением таких схем, которые позволяли бы максимально снизить или (и) использовать взаимное влияние работ по залежам для управления состоянием подработанного массива и горным давлением и обеспечения безопасной и рациональной выемки руд. Выбор и конструирование схем разработки залежей в свите, регламентация ведения работ, локальное и региональное управление горным давлением должны базироваться на комплексном учете горно-геологических, горнотехнических и исходных геомеханических условий месторождения и их изменений в процессе отработки месторождения.

Исследованиями установлено, что в условиях действия тектонических напряжений напряженно-деформированное состояние в зоне одновременной отработки двух пластов характеризуется превалирующим действием сжимающих напряжений, в том числе и в кровле очистных выработок, при этом горизонтальные напряжения повсеместно, за исключением краевых частей залежей, в 2-10 раз превышают вертикальные [2, 8, 9]. Установлено, что опережающая надработка позволяет снизить вертикальные напряжения в краевой части нижней залежи более, чем в 1,3 раза. Наибольшее деформирование пород междупластья и подработанных толщ массива происходит непосредственно в зоне ведения работ и локализуется между широкими барьерными целиками или барьерным целиком и нарушенным (неподработанным) массивом. Взаимное влияние горных работ в смежных пластах проявляется при соотношении мощности междупластья M и пролета в очистной панели по падению рудной залежи $- M / l \geq 1$.

Таким образом, общие рекомендации и ограничения по геомеханике для условий совместной отработки двух рудных пластов в тектонически напряженном массиве пород сводятся к следующим:

1. Порядок отработки пласта, шахтного поля - прямой (от центра к флангам).

2. В зоне совместной одновременной отработки пластов - с опережающей отработкой верхнего пласта. Величина опережения должна быть не менее:

$$\text{по простиранию} - I_{\text{оп}} = 2I_{\text{нр}} + I_{\text{зап}}$$

$$\text{по падению (восстанию)} - I_{\text{оп}} = I_{\text{нр}} + I_{\text{зап}}$$

где $I_{\text{оп}}$ – минимальное опережение, м; $I_{\text{нр}}$ – горизонтальный размер зоны повышенного давления впереди очистного забоя, м; $I_{\text{зап}}$ – запас (на практике $I_{\text{зап}} = 30$ м).

3. Постоянные целики на пластах в зонах их сближенной отработки необходимо оставлять соосно (несоосность не должна превышать 0,2 минимального пролета очистного блока).

4. Ширина панелей в зонах сближенной отработки пластов не должна превышать нормальную мощность междупластья.

5. Проходка минимального количества капитальных и подготовительных выработок впереди фронта очистных работ. При этом их направление должно совпадать по возможности с направлением действия максимальных сжимающих субгоризонтальных тектонических сил.

Выводы. Выполнены исследования по обоснованию методического подхода к геомеханическому обеспечению разработки рудных пластов в тектонически напряженном массиве. Разработан методический подход, который заключается в том, что в структуре взаимосвязи геомеханики и технологии подземных горных работ выделяются шесть основных этапов, отражающих жизненный цикл разработки рудного месторождения: разведка, доразведка и вскрытие, опытно-промышленные работы, эксплуатация, неполная подработка, полная подработка, консервация. Показано, что сложность геомеханического обоснования возрастает кратно в случае, когда месторождение представлено в тектонически напряженном массиве пород свитой рудных тел. Выполнено обоснование и даны геомеханические рекомендации для условий совместной отработки двух рудных пластов в условиях действия тектонических сил, регламентирующие порядок и последовательность отработки пластов, а также взаимное расположение фронтов ведения добывающих работ и конструктивных элементов системы разработки.

Исследования выполнены в рамках проекта РФФИ № 18-05-00563а

ЛИТЕРАТУРА

1. Совершенствование технологии подземной разработки маломощных рудных месторождений Кольского полуострова/ И.И. Бессонов, В.Н. Боборыкин, А.И. Калашник и др. - Апатиты: КНЦ АН СССР, 1989. – 156 с.
2. Указания по безопасному ведению горных работ на Ловозерском месторождении, склонном к горным ударам / А.А. Козырев, А.В. Ловчиков, И.И. Бессонов и др. - Апатиты: Изд. Кольского филиала АН СССР, 1988. - 77 с.
3. Мельников Н.Н. Комплексная многоуровневая система геомониторинга природно-технических объектов горнодобывающих комплексов / Н.Н. Мельников, А.И. Калашник, Н.А. Калашник, Д.В. Запорожец // ФТПРПИ. - 2018. - №4. - С.3-10.
4. Melnikov N.N. Integrated multi-level geofluid mechanics monitoring system for mine waterworks / N.N. Melnikov, A.I. Kalashnik, N.A. Kalashnik // Eurasian Mining. - 2018. - №2. - С.7-10.
5. Мельников Н.Н. Создание многоуровневой системы геодинамического мониторинга горнотехнических и нефтегазовых объектов западной части российского сектора Арктики / Н.Н. Мельников, А.И. Калашник // Арктика: экология и экономика. – 2015. - № 3 (19). – С.66-75.
6. Бессонов И.И. Выбор современной технологии очистной выемки тонких пологих рудных залежей на основе учета геомеханических факторов / И.И. Бессонов, В.Н. Боборыкин, А.И. Калашник // Горный журнал. – 1990. - № 3. – С. 23-26.
7. Козырев А.А. Причины и следствие горно-тектонических ударов на руднике «Умбозеро» в Ловозерском массиве / А.А. Козырев, В.И. Иванов, В.И. Панин, В.В. Захаров, А.И. Калашник // Прогноз и предотвращение горных ударов на рудных месторождениях. - Апатиты: 1993. - С.58-67.
8. Ловчиков А.В. Инновационные решения по управлению горным давлением при отработке Ловозерского редкометалльного месторождения / А.В. Ловчиков // Вестник КНЦ. - 2019. - № 1 (11). - С. 50-56.
9. Савченко С.Н. Особенности распределения тектонических напряжений в зоне отработки сближенных пологих рудных пластов / С.Н. Савченко, А.И. Калашник // ФТПРПИ. – 1985. - № 3. - С. 70-72.

УДК 622.272

ОБОСНОВАНИЕ ОСНОВНЫХ КОНСТРУКТИВНЫХ РЕШЕНИЙ МЕХАНИЗМА ПЕРЕМЕЩЕНИЯ МАЛОЗАХВАТНОЙ БЫСТРОХОДНОЙ ВЫЕМОЧНОЙ МАШИНЫ

Л.В. Лукиенко

доктор технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Агроинженерии и техносферной безопасности» ФГБОУ ВО Тульский государственный педагогический университет им. Л.Н. Толстого, г. Тула, Россия, e-mail: lukienko_lv@mail.ru

Аннотация: в статье представлены результаты разработки конструктивного решения малозахватной быстроходной выемочной машины. Показано, что для соответствия

современным требованиям целесообразно использовать бесцепную систему подачи, с расположенной по забойному борту скребкового конвейера зубчатой рейкой. Конвейер должен быть оснащён зачистным лемехом для улучшения погрузки отбитого полезного ископаемого.

Ключевые слова: быстроходная выемочная машина, бесцепная система подачи, узел поворота, исполнительный орган.

BASIS FOR MAJOR DESIGN SOLUTIONS OF HAULAGE MECHANISM LOW-WEB HIGH-SPEED EXTRACTION MACHINE

L.V. Lukienko

Ph.D., Professor, Head of Predial Engineering and Technosphere Safety Department, Tula State Lev Tolstoy Pedagogical University, Tula, Russia, e-mail: lukienko_lv@mail.ru

Abstract: The article presents the results of development of design solution of low-web high-speed extraction machine. It has been shown that it is advantageous to use a chainless haulage system with a rack on the face side of the armoured flexible conveyor to meet modern requirements. The conveyor must be equipped with a cleaning plow to improve loading of the breaking mineral.

Keywords: High-speed extraction machine, chainless haulage system, rotation unit, cutting disk.

Введение. Вопросы импортозамещения и разработка конкурентоспособных машин для выемки полезных ископаемых с применением короткозабойной технологии и снижением энергозатрат на процесс разрушения полезного ископаемого весьма актуальны. Одним из перспективных направлений развития данного направления является разработка конструктивных схем и практическая реализация быстроходных выемочных машин.

Поэтому **целью работы** является разработка конструктивных решений основных узлов механизма подачи малозахватной быстроходной выемочной машины.

Основной материал. Проведённый анализ литературы показал, что в этом направлении успешно работали учёные А.В. Тихонов [1], Н.Г. Картаевый [2], А.В. Лиманский [3], А.В. Брайцев [4], А.В. Измалков [5], Л.Ф. Кожухов и ряд других специалистов. Однако, в настоящее время к выемочным машинам предъявляются повышенные требования и, прежде всего, оснащение бесцепной системой подачи (БСП). Необходимо отметить, что традиционная компоновка реечного става БСП по завальному борту скребкового конвейера приводит к неблагоприятному распределению нагрузок в опорно-направляющей системе машины из-за значительной массы исполь-

нительного органа машины. Поэтому целесообразно расположить реечный став бесцепной системы подачи по забойному борту скребкового конвейера. Предпочтение при выборе типа реечного става целесообразно отдать зубчатой рейке по сравнению с цевочной, т.к. она меньше подвержена процессу изнашивания. Это можно объяснить тем, что в паре «зубчатое колесо – зубчатая рейка» контакт между элементами кинематической пары происходит на участке зuba рейки, в то время как в паре «зубчатое колесо - цевочная рейка» контакт происходит по линии цевки. Кроме того, для снижения скольжения в зацеплении представляется весьма перспективным использовать циклоидальный профиль зацепления. В качестве привода механизма подачи наиболее предпочтителен частотно-регулируемый электропривод с размещением преобразователя на машине. В соответствии с правилами безопасности механизм подачи малозахватной быстроходной выемочной машины необходимо оснастить многодисковым фрикционным тормозом. Учитывая необходимость обеспечения малых габаритов на комбайне должен быть установлен один двигатель бесцепной системы подачи.

Для снижения затрат на трение в опорно-направляющем механизме следует заменить опоры скольжения опорами качения. Кроме того, целесообразно оснастить забойный борт скребкового конвейера зачистным лемехом, что будет способствовать улучшению погрузки отбитого полезного ископаемого.

Наиболее нагруженными является исполнительный орган выемочной машины и система управления его положением в плоскости пласти. Традиционно на очистных комбайнах для этой цели используют гидродомкраты. Это подразумевает наличие гидропривода (дополнительного элемента) в приводной группе. Однако, современные тенденции проектирования очистных комбайнов предполагают минимизацию применения гидропривода. Поэтому представляется целесообразным использовать для этого передачу с односторонней проводимостью (например, червячную). Такое решение позволит минимизировать применение гидропривода при выполнении основной задачи управления положением исполнительного органа в плоскости пласти разрушающего полезного ископаемого.

Вопрос конструктивного решения исполнительного органа для малозахватной быстроходной выемочной машины имеет большую важность. Здесь могут быть рассмотрены три варианта: шнек (традиционное решение), дисковая фреза и диск с массивным ободом и спицами, которые оснащены резцами. Применение шнека в данном случае предполагает значительное смещение центра тяжести машины в сторону забоя, что

весьма отрицательно может сказаться на нагруженности и ресурсе опорно-направляющей системы машины.

Выводы. Таким образом, в работе представлены конструктивные решения основных узлов механизма подачи малозахватной быстроходной выемочной машины, которые могут быть использованы для дальнейшей проработки предлагаемой выемочной машины.

ЛИТЕРАТУРА

1. А.В. Тихонов Обоснование проектных решений по отработке запасов угольных целиков различного функционального назначения. Автореферат дисс. ... канд. техн. наук, МГГУ, М., 2011, 16 с.
2. Картавый Н.Г. Исследование и выбор основных параметров выемочных машин угледобывающих агрегатов. Автореферат дисс... д.т.н. / МГИ. – Москва, 1970. – 42 с.
3. А.В. Лиманский. Высокоинтенсивная энергосберегающая технология выемки тонких пологих пластов быстроходной выемочной машиной (БВМ) // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал) / ООО «Горная книга», 2006. – Вып. 5. – С.209-214.
4. Брайцев А.В., Лиманский А.В. Фрезерный очистной комбайн типа КСМ с захватом 0,3-0,4 м для длинных очистных забоев // Техника и технология открытой и подземной разработки месторождений: Науч. сообщ. / ННЦ ГП – ИГД им. А.А. Скочинского. М., 2005. – Вып. 329. – С. 71-77.
5. Измалков А.В., Лаврухина Л.Я., Попов С.Ф., Лиманский А.В. Перспективы развития высокопроизводительных энергосберегающих технологий выемки пологих пластов на шахтах России // Техника и технология открытой и подземной разработки месторождений: Науч. сообщ. / ННЦ ГП – ИГД им. А.А. Скочинского. М., 2004. – Вып. 328. – С. 65-73.

УДК 67.08

К ВОПРОСУ ПЕРЕРАБОТКИ ОТХОДОВ ПРОМЫШЛЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА

В.А. Федоскин¹, А.И. Егурнов², Е.В. Федоскина³

¹кандидат технических наук, доцент кафедры автомобилей и автомобильного хозяйства, национальный технический университет "Днепровская политехника", г. Днепр, Украина, e-mail: fedorov_va@ukr.net

²кандидат технических наук, директор по науке и перспективному развитию ООО «Ана-Темс», г. Днепр, Украина, e-mail: yegurnov@yahoo.com

³кандидат технических наук, доцент кафедры конструирования, технической эстетики и дизайна, национальный технический университет "Днепровская политехника", г. Днепр, Украина, e-mail: fedorovina.ev@gmail.com

Аннотация. Показана эффективность высокочастотного ударного нагружения при переработке отходов промышленного производства. Приведен грансостав продуктов дробления и распределение классов крупности в порошковом продукте.

Ключевые слова: отходы производства, рециклинг, вторичные ресурсы, вибрация, грансостав.

THE PROBLEMS OF INDUSTRIAL PRODUCTION WASTE PROCESSING

V.A. Fedoskin¹, O.I. Yehurnov², E.V. Fedoskina³

¹Ph.D., Associate Professor of the Department of Automobiles and Automobile Facilities, Dnipro University of Technology, Dnipro, Ukraine, e-mail: fedoskin_va@ukr.net

²Ph.D., Director of Science and Prospective Development LLS 'Ana-Tems', Dnipro, Ukraine, e-mail: yegurnov@yahoo.com

³Ph.D., Associate Professor of the Department of Engineering, Technical Aesthetics and Design, Dnipro University of Technology, Dnipro, Ukraine, e-mail: fedoskina.ev@gmail.com

Abstract. The effectiveness of high-frequency shock loading in the processing of industrial waste is shown. The granular composition of crushing products and the distribution of particle size classes in a powder product are presented.

Keywords: production waste, recycling, secondary resources, vibration, granular composition.

Введение. Увеличение объёмов промышленного производства неразрывно связано с ростом производственных отходов, которые не находят применения на конкретном предприятии. Основная часть отходов формируется на горных предприятиях, ведущих добычу и обогащение полезных ископаемых, металлургических комбинатах, машиностроительных заводах, производстве строительных материалов. Они занимают тысячи гектар территории в виде терриконов, отвалов пустой породы, хвостохранилищ. В результате этого из сельскохозяйственного оборота выводятся огромные земельные площади, образуются техногенные месторождения, использование которых становится возможным только по мере развития технологии и разработки эффективного оборудования.

Промышленные отходы, в совокупности с бытовыми, являются одним из основных источников загрязнения окружающей среды. Терриконы создают угрозу проседания почвы в районе шахтных выработок, при горении выбрасывают в воздух вредные вещества, провоцирующие заболевания верхних дыхательных путей и аллергические реакции, отвалы пустой породы ухудшают состояние прилегающего воздушного бассейна большим количеством пыли, хвостохранилища являются активными и долговременными источниками химического загрязнения поверхностных и подземных

вод, свалки отработанных шин представляют благоприятную территорию разведения грызунов и вредных насекомых.

Даже такой короткий перечень примеров показывает актуальность проблемы и важность перевода отходов производства во вторичные ресурсы, которые являются исходным материалом для дальнейшего применения в технологическом процессе при изготовлении новой продукции.

Цель работы. На основании проведения лабораторных испытаний оценить эффективность переработки производственных отходов с использованием вибрационных технологий.

Материал и результат исследований. Основная причина накопления значительных объемов производственных отходов связана с использованием отсталых технологий переработки, которая проводится традиционными способами. В настоящее время на передний план выходит комплексный подход к решению этой проблемы, в основу которого положена инициатива 3R (Reduce, Reuse, Recycle). Первые две составляющие этой концепции, направленные на сокращение отходов производства и возможности их вторичного использования без дополнительной переработки, реализуются, с учётом принципов «экодизайна», на этапе проектирования и разработки технологического процесса изготовления изделия. Третья составляющая инициативы 3R - рециклинг – предопределяет процесс получения вторичных ресурсов, являющихся исходным материалом при создании нового изделия. К сожалению, не все производственные отходы могут быть переведены в состояние вторичных ресурсов. Для части отходов в настоящее время не существует технологий переработки, некоторые отходы перерабатывать экономически не целесообразно. Представленная в качестве примера технологическая схема (рисунок 1) дробления материалов средней крепости, с получением готового продукта крупностью -10мм, посредством щёковой и валковой дробилками является наиболее простой. С увеличением крепости материала, его исходных размеров и уменьшением крупности готового продукта, технологическая схема дополняется новыми дробилками, а при получении мелкозернистых и порошковых материалов - измельчительным оборудованием. Кроме этого, для соблюдения технологического режима и обеспечения связи между дробилками, схема дополняется грохотами и транспортирующими устройствами

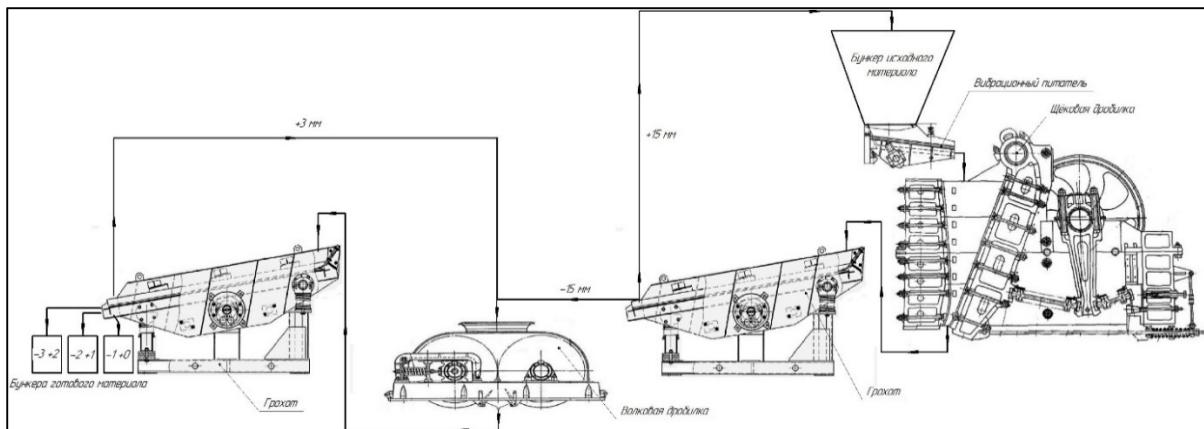


Рисунок 1 - Технологическая схема переработки производственных отходов

Применяемое стандартное оборудование имеет низкую степень дробления, в частности, щековые дробилки 3 - 5, валковые 3 - 10, молотковые 10 -15, что является основной причиной применения многостадийных процессов дезинтеграции исходного продукта. Уменьшение количества дробильно-измельчительных операций может быть достигнуто посредством создания на основе вибрационных технологий высокоеффективного оборудования со степенью дробления $i > 100$ [1, 2, 3]. В результате этого произойдёт снижение себестоимости вторичных ресурсов и расширение области производства наиболее востребованных мелкозернистых материалов.

С использованием высокочастотного ударного нагружения в лабораторных условиях были подвержены разрушению образцы шамотного материала (рисунок 2) прочностью 0,3 - 0,5 ГПа и крупностью 50...140 мм.



Рисунок 2 - Образцы исходного материала

Частота колебаний ударника составляла 20 Гц., амплитуда 2...7мм. При этом не ставилась задача определения зависимостей между динамическими и технологическими параметрами [4, 5, 6]. Рассматривалась качественная картина получения мелкозернистого продукта с высокой степенью дробления из высокопрочных производственных отходов.

Рассев дроблённого продукта осуществлялся на контрольных ситах (рисунок 3), и был определён их гранулометрический состав (Таблица 1).



Рисунок 3 – Дроблённый продукт

Таблица 1 – Гранулометрический состав дроблённого материала (три образца)

Класс крупности	Выход, гр.	Выход γ, %	Выход γ, % по «+»	Выход γ, % по «-»
+ 2	27	5,97	5,97	100
+1 -2	99	21,9	27,87	94,03
+0,5 – 1	94	20,8	48,67	72,13
+0,25 – 0,5	80	17,7	66,37	51,33
0 – 0,25	152	33,63	100	33,63
Итого:	452	100		

Класс крупности	Выход, гр.	Выход γ, %	Выход γ, % по «+»	Выход γ, % по «-»
+ 2	58	10,92		100
+1 -2	144	27,12		89,08
+0,5 – 1	111	20,9		61,96
+0,25 – 0,5	89	16,76		41,06
0 – 0,25	129	24,3		24,3
Итого:	531	100		

Класс крупности	Выход, гр.	Выход ψ, % по «+»	Выход ψ, % по «-»
+ 2	176	14,66	100
+1 -2	312	26	85,34
+0,5 – 1	216	18	59,34
+0,25 – 0,5	164	13,67	41,34
0 – 0,25	332	27,67	27,67
Итого:	1200	100	

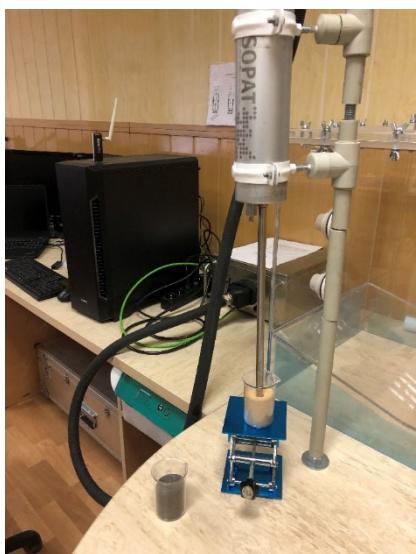


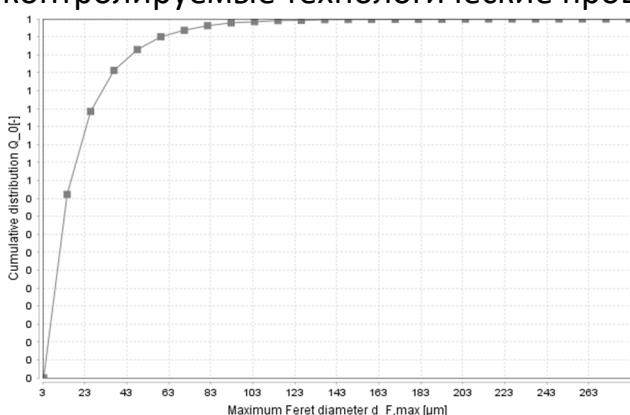
Рисунок 4 - зондом SOPAT-Ма

Анализ гранулометрического состава показывает, что изменение характеристик материала в границах отобранного для исследований не оказывает существенного влияния на результаты дробления.

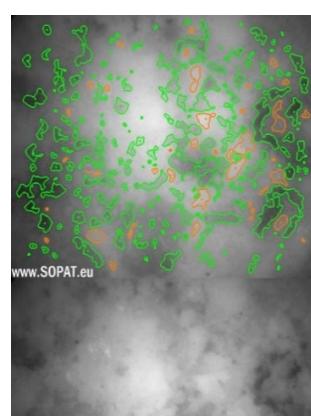
Выход мелкозернистого материала (-1мм.) составляет 60...70% при степени дробления $i=50\ldots140$, выход порошкового материала (-0,25мм.) составляет 24...33% при степени дробления $i=200\ldots560$.

Гранулометрический анализ порошка - 0,250 мм производился зондом SOPAT-Ма диапазоном измерения 1,5 – 280 мкм в лаборатории «Ана-Темс» (Свидетельство №ПЧ 06-2/346-20190) в соответствии с ДСТУ ISO 10012-2005 и ISO 13322-1(2).

Смарт технология SOPAT[®] позволяет измерять размеры частиц в потоке и в статике в диапазоне от 0,9 до 26000 мкм в режиме реального времени, производя анализ частиц и автоматизируя процесс контроля гранулометрического состава в трёх фазах состояния (твёрдое, жидкое и газообразное) с возможностью реагирования обратной связью на контролируемые технологические процессы [7].



а



б

Рисунок 5 - Гранулометрический состав продукта 0 -0,250 мм.



Smart Online Particle Analysis Technology

Basic Details	
Title	Notes
Data acquisition start Apr 10, 2020 4:23:32 PM	Particles per folder 4019.00 [-]
Number of particles (total) 4019 [-]	Number of particles (filtered) 4019 [-]
Filtername Maximum Feret diameter d_F,max	Filtervalue Min: 0.001 Max: NaN
µm per pixel 0.49 [µm/pix]	Image acq. duration n.a.
Measure duration n.a.	Data eval. duration (avg.) 13.24 [sec]
Program title	
Characteristics (Mean Feret diameter d_F,mean)	
$x_{1,0}$: 17.40 [µm] Arithmetic mean size	$x_{2,0}$: 23.65 [µm] Arithmetic mean area size
$x_{1,1}$: 32.15 [µm] Size weighted mean size	$x_{3,0}$: 31.78 [µm] Arithmetic mean volume size
$x_{2,1}$: 42.95 [µm] Size weighted mean area size	$x_{1,2}$: 57.38 [µm] Area weighted mean size (Sauter mean)
$x_{1,3}$: 94.75 [µm] Volume weighted mean size (De Brouckere mean)	x_g : 12.98 [µm] Geometric mean size
min: 3.62 [µm] Minimum	max: 218.76 [µm] Maximum
x_{n10} : 4.97 [µm] 10% number based value	x_{n50} : 12.23 [µm] 50% number based value (median)
x_{n90} : 35.98 [µm] 90% number based value	x_{n95} : 47.49 [µm] 95% number based value
x_{v10} : 29.93 [µm] 10% volume based value	x_{v50} : 73.74 [µm] 50% volume based value (median)
x_{v90} : 208.81 [µm] 90% volume based value	x_{v95} : 218.76 [µm] 95% volume based value
span ₃ : 2.43 [-] Volume based distribution width	σ : 16.02 [µm] Standard deviation
Var: 256.67 [µm ²] Variance	C_{mean} : 0.81 [-]
AR _{mean} : 0.63 [-]	$C_{FF,mean}$: 0.67 [-]
Characteristics (Mean Feret diameter d_F,mean)	
$x_{1,0}$: 21.05 [µm] Arithmetic mean size	$x_{2,0}$: 28.14 [µm] Arithmetic mean area size
$x_{1,1}$: 37.61 [µm] Size weighted mean size	$x_{3,0}$: 36.04 [µm] Arithmetic mean volume size
$x_{2,1}$: 47.15 [µm] Size weighted mean area size	$x_{1,2}$: 59.10 [µm] Area weighted mean size (Sauter mean)
$x_{1,3}$: 84.52 [µm] Volume weighted mean size (De Brouckere mean)	x_g : 15.37 [µm] Geometric mean size
min: 3.61 [µm] Minimum	max: 223.55 [µm] Maximum
x_{n10} : 5.47 [µm] 10% number based value	x_{n50} : 15.07 [µm] 50% number based value (median)
x_{n90} : 44.39 [µm] 90% number based value	x_{n95} : 58.19 [µm] 95% number based value
x_{v10} : 33.32 [µm] 10% volume based value	x_{v50} : 73.52 [µm] 50% volume based value (median)
x_{v90} : 159.47 [µm] 90% volume based value	x_{v95} : 180.66 [µm] 95% volume based value
span ₃ : 1.72 [-] Volume based distribution width	σ : 18.67 [µm] Standard deviation
Var: 348.74 [µm ²] Variance	C_{mean} : 0.78 [-]
AR _{mean} : 0.61 [-]	$C_{FF,mean}$: 0.63 [-]

Characteristics (Mean Feret diameter d_F,mean)	
$x_{1,0}$: 21.87 [μm] Arithmetic mean size	$x_{2,0}$: 30.88 [μm] Arithmetic mean area size
$x_{1,1}$: 43.62 [μm] Size weighted mean size	$x_{3,0}$: 41.51 [μm] Arithmetic mean volume size
$x_{2,1}$: 57.20 [μm] Size weighted mean area size	$x_{1,2}$: 75.01 [μm] Area weighted mean size (Sauter mean)
$x_{1,3}$: 108.06 [μm] Volume weighted mean size (De Brouckere mean)	x_g : 15.33 [μm] Geometric mean size
min: 3.61 [μm] Minimum	max: 232.70 [μm] Maximum
x_{n10} : 5.32 [μm] 10% number based value	x_{n50} : 14.64 [μm] 50% number based value (median)
x_{n90} : 47.10 [μm] 90% number based value	x_{n95} : 62.36 [μm] 95% number based value
x_{v10} : 39.99 [μm] 10% volume based value	x_{v50} : 100.30 [μm] 50% volume based value (median)
x_{v90} : 181.99 [μm] 90% volume based value	x_{v95} : 200.44 [μm] 95% volume based value
span ₃ : 1.42 [-] Volume based distribution width	σ : 21.81 [μm] Standard deviation
Var: 475.78 [μm^2] Variance	C_{mean} : 0.78 [-]
AR_{mean} : 0.62 [-]	$C_{FF,\text{mean}}$: 0.62 [-]

Рисунок 6 – Результаты анализа порошков трёх продуктов.

Полученные результаты анализа продукта 0 – 0,250 мм (рисунок 6), не существенно отличаются между собой. Наличие в порошках большого количества (более 50%) материала крупностью менее 50 мкм свидетельствуют о перспективности данного метода дробления/помола.

Вывод. Проведенные исследования показали необходимость создания на основе виброударного нагружения материала эффективного оборудования со степенью дробления $i > 100$ для переработки высокопрочных производственных отходов. Это позволит значительно сократить количество оборудования в технологической цепи производства вторичных ресурсов, снизить их себестоимость и расширить номенклатуру получаемых мелкозернистых и порошковых материалов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Федоскина Е.В. Предпосылки использования виброщёковых дробилок в технологическом процессе разделки слитков ферросплавов / Е.В Федоскина // «Вібрації в техніці та технологіях» XVI Міжнародна науково-технічна конференція. Збірник тез доповідей. Вінниця.26-27 жовтня 2017, - С.53 -54.
2. Франчук В.П. Перспективы применения вибрационных щековых дробилок для измельчения ферроматериалов / В.П.Франчук, В.А.Федоскин, В.В. Плахотник // Обогащение полезных ископаемых: Научн.- техн. сб. –Д.,1990. – Вып.40. С. 3 – 6.
3. Франчук В.П., Федоскин В.А. Исследование процесса получения мелкозернистых материалов в вибрационной щековой дробилке Тезисы докладов IV Всесоюзной конференции "Механика сыпучих материалов", г. Одесса, 1980. – С.185
4. Федоскіна О.В. Динаміка віброударного подрібнювача з похилою робочою камерою: Автореф. дис. канд. техн. наук –Дніпро, 2018. – 19 с.
5. Федоскин В.А. Исследования и разработка вибрационного оборудования для порошковых материалов / Федоскин В.А., Федоскина Е.В., Ерисов Н.Н., Корниленко К.И. // «ПОТУРАЇВСЬКІ ЧИТАННЯ» XVIII Міжнародної науково-технічної конференції 24 січня

2020р. : електрон. збірник тез доповідей. – Дніпро : НТУ «ДП» 2020 – 27 С. URL: <http://gmi.nmu.org.ua/ua/nauka/vibro/2020.pdf>

6. Федоскін В.А. Динамика и разработка методов расчета измельчительных машин виброударного действия: Автореф. дис. канд. техн. наук – Тбілісі, 1982. - 24 с.

7. SOPAT. Smart Online Particle Analysis Technology Web-site. URL: www.sopat.eu

УДК 621.926.2

ОСОБЛИВОСТІ ФОРМИ ФУТЕРУВАЛЬНИХ ПЛІТ ВІБРАЦІЙНОЇ ЩОКОВОЇ ДРОБАРКИ

O.V. Fedoskina¹, I.M. Matsyuk², V.V. Batus³

¹кандидат технічних наук, доцент кафедри конструювання, технічної естетики і дизайну, національний технічний університет "Дніпровська політехніка", м. Дніпро, Україна, e-mail: fedorokina.ev@gmail.com

²кандидат технічних наук, доцент кафедри конструювання, технічної естетики і дизайну, національний технічний університет "Дніпровська політехніка", м. Дніпро, Україна, e-mail: matsyukin@ua.fm

³студент спеціальності «132 Матеріалознавство», НТУ «Дніпровська політехніка», м. Дніпро, Україна

Анотація. Наведено огляд деяких форм робочих поверхонь футерувальних плит вібраційних щокових дробарок, які використовуються для отримання порошкових матеріалів. Надано рекомендації по їх раціональному застосуванню виходячи з крупності початкового матеріалу.

Ключові слова: вібраційна щокова дробарка, футеровка, робоча поверхня, форма.

THE VIBRATION CRUSHER PLATES SHAPE FEATURES

O.V. Fedoskina¹, I.M. Matsyuk², V.V. Batus³

¹Ph.D., associate professor, department of engineering and generative, Dnipro University of Technology, Dnipro, Ukraine, e-mail: fedorokina.ev@gmail.com

²Ph.D., associate professor, department of engineering and generative, Dnipro University of Technology, Dnipro, Ukraine, e-mail: matsyukin@ua.fm

³student, Dnipro University of Technology, Dnipro, Ukraine

Abstract. A brief overview of some shapes of the working surfaces of the lining plates of vibrating jaw crushers used to obtain powder materials is given. These are recommendations for their rational use based on the size of the source material

Keywords: *vibrating jaw crusher, lining, work surface, shape.*

Вступ. Одним з основних елементів вібраційних щокових дробарок є футерувальні плити, форма робочої поверхні яких має істотний вплив на основні показники роботи дробарки, зокрема, продуктивність, питому витрату енергії, зерновий склад і форму готового продукту. Пошукам раціонального профілю плит, що дроблять, присвячена велика кількість робіт, проте в основному вони стосуються щокових дробарок, переважна кількість яких комплектується плитами з трикутними рифленнями. Пряме перенесення форми плит щокових дробарок у вібраційні щокові дробарки малоефективне унаслідок переходу від статичного до динамічного способу навантаження матеріалу, що переробляється.

Мета роботи. Аналіз існуючих форм робочої поверхні щік віброщокової дробарки і рекомендації по їх використанню.

Матеріал і результати досліджень. Особливістю роботи віброщокової дробарки є ударний високочастотний спосіб навантаження матеріалу [1], що зумовлює різноманітність форм робочої поверхні футерувальних плит залежно від фізико-механічних властивостей матеріалу, що переробляється, і необхідного технологічного регламенту. Нині найбільше поширення мають футерувальні плити з плоскою формою (малюнок 1) робочої поверхні.



а



б

Рисунок 1 - футерувальна плита з плоскою робочою поверхнею
а - установка плити в дробарці; б - робоча поверхня плити

Вони прості у виготовленні і монтажі. Така форма особливо ефективна в вібраційних щокових дробарках з похилою камерою дроблення [2].

Наявність безпосереднього контакту робочих поверхонь щік дає можливість використовувати вібраційну щокову дробарку в якості самостійного подрібнювального агрегату при отриманні порошкових матеріалів. Такі футерувальні плити доцільно застосовувати при крупності вихідного продукту 3 - 15мм., враховуючи при цьому його фізико-механічні властивості.

Значний вплив на вихід дрібних класів робить висота паралельної зони, яка є регулятором отримуваного гранулометричного складу і може змінювати відсотковий вміст вузьких класів в загальній масі. При більшій крупності початкового продукту доцільно використати ступінчасту форму футерувальної поверхні щоки. Ступінчаста форма (малюнок 2) розділяє камеру дроблення на окремі зони, в кожній з яких шматок дробиться до розміру, що не перевищує ширину щілини в нижній частині відповідної зони.

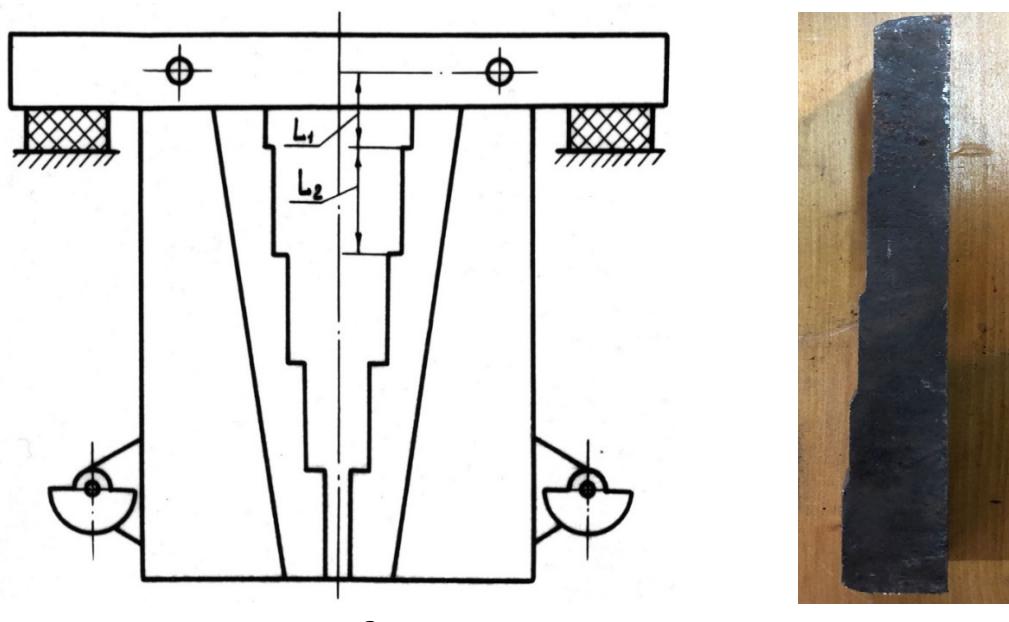


Рисунок 2 - Ступінчаста форма робочої поверхні щоки:
а - конструктивна схема розташування плит в дробарці
б - форма торця плити

Ширина сходинок при цьому дорівнює різниці амплітуд коливань щоки у верхній і нижній точках кожної із зон. Така форма футерувальних плит дозволяє значно збільшити ступінь дроблення матеріалу без збільшення довжини робочої камери дробарки.

Ефективність дроблення може бути підвищена при використанні комбінованої форми (рисунок 3) футерувальної поверхні. Верхня частина виконана у формі шипів, що сприяє розколюванню вихідного матеріалу. Нижня

частина має плоску форму, що забезпечує додаткове подрібнення матеріалу до дрібнозернистих фракцій.



а



б

Рисунок 3 - Комбінована форма робочої поверхні щоки:
а - установка плити в дробарці; б - робоча поверхня плити

Висновок. Особливості конструкції і динамічного способу навантаження матеріалу вимагає розробки нових форм робочої поверхні щоки, яка забезпечуватиме ефективну дезінтеграцію конкретного матеріалу.

ЛИТЕРАТУРА

1. Франчук В.П. К вопросу эффективности дробления материала в вибрационной щёковой дробилке / В.П. Франчук, В.В. Плахотник, Е.В. Федоскина // Збагачення корисних копалин: Наук.-техн. зб. – Д., 2008. - Вип. 33(74). – С. 56 - 61.
2. Федоскіна О.В. Динаміка віброударного подрібнювача з похилою робочою камерою: Автореф. дис. канд. техн. наук –Дніпро, 2018. – 19 с.

УДК 621.926.5+621.926.5

САМОУСТАНАВЛИВАЮЩИЕСЯ ПРИВОДНЫЕ ШЕСТЕРНИ В ПРИВОДАХ БАРАБАННЫХ МЕЛЬНИЦ

Б.В. Виноградов

доктор технических наук, профессор кафедры инновационной инженерии, Государственное высшее учебное заведение «Химико-технологичный университет», г. Днепр, Украина, e-mail: borvvin@gmail.com

Аннотация. В работе проведен анализ факторов, влияющих на долговечность открытых зубчатых передач отечественных барабанных мельниц. Показано, что применение самоустанавливающихся приводных шестерен позволит повысить твёрдость рабочих поверхностей зубьев, а также долговечности открытых зубчатых передач и передачу барабану одной приводной шестерней мощность более 6000кВт.

Ключевые слова: барабанная мельница, открытая зубчатая передача, абразивный износ, самоустанавливающаяся шестерня.

SELF-INSTALLING DRIVE PINIONS IN DRUM MILL DRIVES

Borys Vynogradov

Ph.D., Professor of Department Innovative Engineering, State Higher Educational Institution 'Ukrainian State University of Chemical Technology', Dnipro, Ukraine, e-mail: borvvin@gmail.com

Abstract. The paper analyzes the factors affecting the durability of open gears of domestic drum mills. It is shown that the use of self-aligning drive pinion will increase the hardness of the working surfaces of the teeth, increase the durability of open gears and transfer to the drum a single drive gear power of more than 6000 kW.

Keywords: drum mill, open gear, abrasive wear, self-aligning pinion.

Введение. Для тонкого измельчения материалов наиболее широко применяются барабанные мельницы, их доля в общем количестве измельчительного оборудования составляет в Украине 95%, за рубежом - 80%. Снижение затрат на измельчение минерального сырья идет по пути создания крупногабаритных барабанных мельниц и увеличение их единичной мощности. Так крупнейший в мире мельница самоизмельчения, изготовленный на предприятиях компании Metso Minerals (США) в 1962, имел диаметр 6,71 м и мощность двигателя 1306 кВт, то в 1965 уже был изготовлен мельница диаметром 9,75 м и мощностью двигателя 4478 кВт. В 1996 этой компанией был изготовлен самый большой в мире мельница полусамоизмельчения, которая имела барабан диаметром 12,2 м и двигатель, установленный

непосредственно на барабане, мощностью 20000 кВт и в 2001г. - шаровая мельница диаметром 7,93 м и мощностью двигателя 15500 кВт.[1], [2]

Вопрос о техническом перевооружении предприятий, где процесс измельчения является наиболее капиталоёмким, например, горно-обогатительных фабрик, наиболее остро стоит в Украине так как мельницы, эксплуатируемые на отечественных предприятиях, изготовлены в 70 г. прошлого столетия на Новокраматорском (шаровые мельницы) и Сызранскому (мельницы самоизмельчения) заводах тяжелого машиностроения, имеют мощность двигателя 4000 кВт – это мельницы МШЦ 55 x 65 и ММС 90 x 30.

Анализ различных типов приводов показал, что наиболее экономически выгодным является боковые приводы, где мощность барабану передается приводной шестерней через зубчатый венец. Увеличение единичной мощности барабанной мельницы ограничивается работоспособностью открытой зубчатой передачи.

Цель работы. Обоснование путей повышения мощности, передаваемой приводной шестерней через зубчатый венец барабану мельницы.

Материал и результаты исследований. В отличие от лучших зарубежных образцов барабанных мельниц, у которых твёрдость рабочих поверхностей зубьев шестерни составляет $(265-280)H_1B_1$, а венца – $(260-300)H_2B_2$, твёрдость рабочих поверхностей зубьев отечественных мельниц соответственно равна $(260-300)H_1B_1$ и $(180-200)H_2B_2$. Это приводит к тому, что долговечность этих открытых зубчатых передач в основном определяется абразивным изнашиванием зубьев. Разработана методика расчёта открытых зубчатых передач на абразивный износ, которая позволяет прогнозировать долговечность открытых зубчатых передач барабанных мельниц на стадии проектирования [2].

Рассмотрим наиболее близкую к отечественной мельнице ММС 90 x 30 мельницу Рокайл 30 x 10 (Kobe Steel). Твёрдость зубьев приводной шестерни и венца этой мельницы соответственно равны 550НВ и 284НВ, частота вращения 140 об/мин, частота вращения приводной шестерни мельницы ММС 90 x 30 – 75 об/мин. Замена двигателя мельницы ММС 90 x 30 на более быстроходной с частотой вращения 150 об/мин. существенно снизил бы стоимость мельницы. Расчёты показывает, что из-за низкой твёрдости рабочих поверхностей её зубьев, долговечность открытой зубчатой передачи, в этом случае, снизилась бы более чем в два раза.

Попытки повысить твёрдость рабочих поверхностей зубьев открытых передач мельниц отечественных мельниц приводили к их поломкам. Это объясняется тем, что точность изготовления и монтажа открытых зубчатых передач отечественных мельницы ниже лучших зарубежных образцов.

Например, максимальное радиальное биение зубчатого венца и максимальное торцевое биение мельницы Роксайл 30 x 10 равняются 0,7мм, а мельницы MMC 90 x 30 эти же величины равны 0,2 мм. Экспериментальные и теоретические исследования показывают, что величина радиального биения влияет на динамику зубчатого зацепления, а торцевое биение – на неравномерность распределения нагрузки по ширине зубчатого венца [4]. Поэтому, например, изгибные напряжения в опасном сечении зубьев открыто зубчатой передачи мельницы MMC 90 x 30 более чем 1,6 раза выше. Увеличение твёрдости рабочих поверхностей зубьев исключает износ и приработку зубьев и является основной причиной их поломок.

Низкая твёрдость рабочих поверхностей зубьев не позволяет дальнейшего увеличения мощности, передаваемой через зубчатый венец барабану двумя приводными шестернями, так как, в этом случае, срок службы открытой зубчатой передачи уменьшится более чем в два раза.

В настоящее время разработаны самоустанавливающиеся приводные шестерни, что позволило существенно увеличить мощность, передаваемую барабану через зубчатый венец одной, а тем более двумя приводными шестернями [4]. Оборудование открытых зубчатых передач мельниц MMC 90 x 30 позволит передавать барабану одной шестерней более 6000 кВт, повысить твердость рабочих поверхностей зубьев открытой передачи и за счёт этого оборудовать привод более быстроходным двигателем и исключить абразивный износ зубьев.

Вывод. Установлено, что применение самоустанавливающихся приводных шестерен в приводах отечественных мельниц позволит повысить твёрдость рабочих поверхностей зубьев, а также долговечность открытых зубчатых передач и передачу мощности барабану одной приводной шестерней более, чем 6000 кВт.

ЛИТЕРАТУРА

1. Стюарт. Крупногабаритные мельницы измельчения компании Metso Minerals [Текст] / М. Джонс Стюарт, Витас Свалбонас, Компания Metso Minerals // Горная промышленность. – 2007. – №1 (70). – С.58-64.
 2. Виноградов Б.В. Статика та динаміка барабанних млинів / Дніпропетровськ: УДХТУ, 2016. – 211 с.
 3. Виноградов Б.В. Відкриті зубчасті передачі барабанних млинів. Зношування та навантаження. / Дніпропетровськ: УДХТУ, 2004. – 140 с.
- Пат. G 9013226U1 МПК F 16 C 13/00, A 23 N 12/10, F 23 G 5/20, F 27 B 7/20. Drehtrommel/ Tetzner, V. (Німеччина); заявник та патентовласник Krupp Polysius AG. – № 19909013226; заявл. 18.09.90; опубл. 22.11.90. – 19 с.

УДК 622.625.24

ВСТАНОВЛЕННЯ РЕЖИМІВ ТЕРМООБРОБКИ ДЕТАЛЕЙ БУКСОВОГО ВУЗЛА ШАХТНОЇ ВАГОНЕТКИ ЗА ВИЗНАЧЕНИМИ КІНЕМАТИЧНИМИ ТА СИЛОВИМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ РУХУ

С.О. Федоряченко¹, В. Батусь², А. Фартушна³

¹кандидат технічних наук, доцент, кафедра конструювання технічної естетики і дизайну,
e-mail: ziborov.k.a@nmu.one

²студент групи 132м-19-2

³студент групи 132-18-3

^{1,2,3}Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», м. Дніпро, Україна

Анотація. Проведено аналіз використання шахтних вагонеток в умовах зростання інтенсивності експлуатації та виявлено ряд невирішених завдань, пов'язаних зі стійкістю їх руху по шахтному рейковому шляху. Запропоновано технологію термообробки втулок буксового вузла для отримання високих показників поверхневої твердості.

Ключові слова: шахтна вагонетка, стійкість руху, буксовий вузол, напружено-деформований стан, режими термообробки.

SETTING UP OF THERMAL TREATMENT MODES OF SHAFT MINE TANKS DETERMINATION BY DEFINED KINEMATIC AND POWER MOVEMENT FEATURES

S.O. Fedoriachenko¹, V. Batus², A. Fartushna³

¹Ph.D., Associate Professor, Department of Engineering and Generative Design, Dnipro University of Technology, Dnipro, Ukraine, e-mail: ziborov.k.a@nmu.one

^{2,3}student of group 132, Dnipro University of Technology, Dnipro, Ukraine

Abstract. The analysis of the use of mine trolleys in the conditions of increasing the intensity of operation and identified a number of unresolved problems related to the stability of their movement along the mine rail path. The technology of heat treatment of bushing hub bushings for high surface hardness indices is proposed.

Keywords: mine trolley, resistance to movement, axle box, stress-strain state, heat treatment modes.

Вступ. Розвиток і широке впровадження засобів механізації гірничих робіт при підземному і відкритому видобутку корисних копалин - невідмінна умова зростання продуктивності праці, інтенсифікації економічного розвитку підприємств різних галузей гірничодобувної галузі.

Одним з найбільш важливих ланок у технологічному ланцюгу підземного видобутку є процес доставки корисної копалини на поверхню, транс-

портні операції в межах очисного забою і магістральних виробок. Транспортування корисних копалин і породи, вантажів і т.п. на підприємствах гірничої промисловості в більшості випадків виконується вагонетками за допомогою локомотивної відкатки або лебідочним приводом.

Виникаючі в результаті взаємодії вагонетки і рейкового шляху сили, в парі з фізичними недосконалостями шляху, призводять до появи динамічних навантажень у ланках ходової частини. З ростом вантажопотоку і інтенсивності нерівностей шляху динамічна складова зростає і її вплив на техніко-експлуатаційні показники збільшується. Забезпечення сталих показників можливо при відповідності інженерних розрахунків технології виготовлення та якості матеріалів, зокрема обраних режимів термообробки відповідних вузлів.

Мета роботи – забезпечення достатнього ресурсу опор буксових вузлів шахтної вагонетки за визначеними кінематичними та силовими характеристиками руху шляхом вибору необхідної технології підвищення поверхневої твердості контактуючих поверхонь.

Матеріали дослідження. Конструкція буксового вузла шахтної вагонетки має ряд недоліків як конструктивних, так і експлуатаційних. Використання радіальних або радіально-осьових підшипників кочення в динамічно навантажених вузлах можливо при високій точності виготовлення і обробки посадочних місць, співвісності отворів, певною величиною натягу при посадці. Похибка співвісності призводить до перекосу осі, що збільшує динамічне навантаження на один з підшипників. У міру зношування підшипники кочення вимагають великого обсягу робіт. При досить великому парку вагонеток на шахті обслуговування буксовых вузлів проводиться вже при зношених підшипниках. Виниклі зазори збільшують динамічне навантаження на підшипник і прискорюють знос. Однак, при появі люфтів в підшипниках кочення, виникає додаткова місцева рухливість колеса навколо вертикальної осі. Сумарне допустиме відхилення від співвісності кілець під дією навантажень, оцінюється гранично допустимим кутом взаємного перекосу між осями внутрішнього і зовнішнього кілець підшипників кочення, змонтованих в підшипникових вузлах.

Підвищений знос і збільшення опору руху викликають умови шахтної виробки, які призводять до того, що після від 4 до 5 місяців експлуатації масло в підшипниковому вузлі повністю виробляється або змішується з вугільно-породним пилом, що прискорює знос і руйнування. Недостатнє обслуговування і неякісна зборка підшипникового вузла призводять до зростання питомого опору руху вагонетки в два рази. Зростання опору і високі динамічні навантаження, викликані фізичними недосконалостями рейкового шляху, підсилюють знос пари колесо - рейка. Згідно з дослідженнями [1, 2],

середній термін служби всієї вагонетки становить 3 - 4 роки (при нормативі 5 років), кузова вагонетки - 2 - 4 роки, колісних пар - 1 - 2 роки, зчіпки - від 6 місяців до 2 років.

Один із способів зниження опору руху – змащення робочих поверхонь розпиленням змащуючої речовини на робочу зону реборди колеса і рейки. Нанесення мастильного шару знижує опір руху на заокругленні дороги. Застосування змазки знижує знос фрикційної пари в 1,5 - 2 рази. Однак в шахтних умовах нанесення на рейку шару мастила коагулює абразивні сполуки на поверхні рейки і тому не може бути застосований.

Використання колісних пар з незалежним обертанням коліс на шахтних вагонетках дозволило домогтися зниження опору в кривих малих радіусів, зменшити обточування реборди. Але це призвело до тривалого одностороннього контакту колеса з рейкою через недостатню центрування в колії колісних пар.

Конструкція буксового вузла із забезпеченням осьового зміщення колеса за визначеними кінематичними та силовими характеристиками руху та на основі дослідження напруженого-деформованого стану ланок буксового вузла шахтної вагонетки, а також обґрунтуванні матеріалу для виготовлення деталей цього вузла дозволить підвищити ресурс ходової частини вагонетки та покращить її техніко-експлуатаційні показники.

Сучасні засоби комп'ютерного моделювання дозволяють об'єднати застосування аналізу і синтезу складних механічних систем. Розв'язання таких задач одночасно дозволяє виконати дослідження не тільки динамічних характеристик шахтної вагонетки, а й визначити НДС ланок ходової частини, отримати номограми напружень при різних активних навантаженнях, досліджувати вплив властивостей матеріалів на працездатність ланок ходової частини, розробляти рекомендації щодо технології отримання відповідних властивостей.

Конструкція буксового вузла із додатковою кінематичною рухливістю представлена на рисунку 1. Додаткова рухливість забезпечена безпосереднім переміщенням колеса довкола своєї вісі за рахунок перекочування сферичних тіл по поверхні втулок.

Область взаємодії куль і конусних поверхонь схильні до високих контактних напружень. Геометричні параметри контактуючих пар повинні бути такими, щоб дотримувалися умови міцності. Для визначення напружень і деформацій контактуючих пар необхідно вирішити задачу дослідження контактних напружень. Визначення характеристик напруженого-деформованого стану ланок колісної опори при заданих геометричних параметрах дозволить визначити геометричні характеристики ланок буксового вузла.

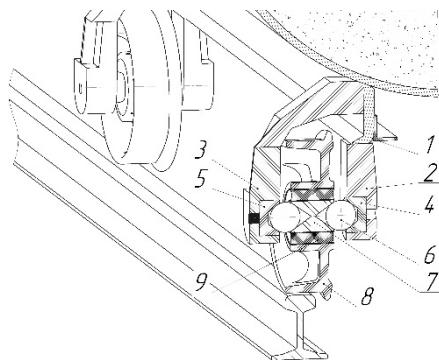


Рисунок 1 - Принципова конструкція буксового вузла з додаткових ступенем рухливості колеса: 1 - рама; 2, 3 - стійки; 4, 5 - упорні втулки; 6 - куля; 7 - упорно-направляюча втулка; 8 -колесо; 9 – компенсуючий елемент

Геометрична форма області контакту кулі з втулкою по конусній поверхні представлена кільцем, діаметр якого визначається наступним чином:

$$D_k = D_w \cos\left(\frac{\alpha}{2}\right)$$

де D_w – діаметр кулі, м;

α – кут, який утворює конусна поверхня втулок.

Через неузгодженість форм контактуючих ланок буксового вузла, під впливом радіального і осьового навантажень вони деформуються в області початкового контакту і взаємодіють по кінцевій еліптичній області.

Для вирішення контактної задачі по визначеню деформацій зони контакту неузгоджених тіл застосуємо теорію Герца при пружному kontaktі [3]. Для цього приймемо такі припущення:

1) Поверхні тіл гладкі і неузгоджені: $a \ll R_k$, де a – розмір області контакту; R_k – відносний радіус кривизни;

2) деформації малі: $2a < R_k$;

Кожне з контактуючих тіл може розглядатися як пружний напівпростір.

Розрахункова схема контакту кулі і конусної втулки представлена на рисунку 2.

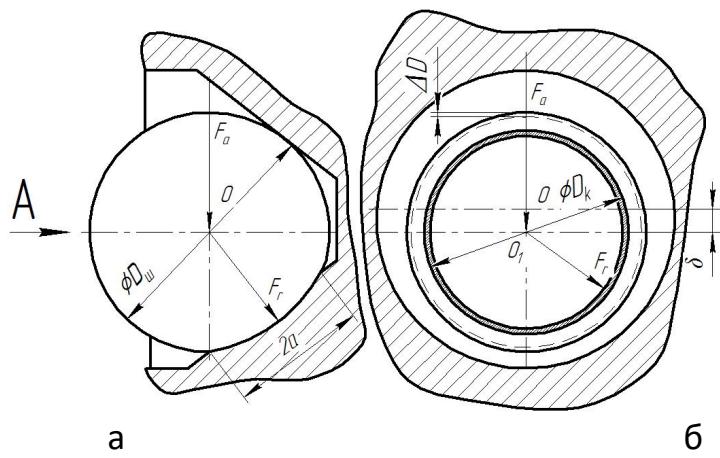


Рисунок 2 – Розрахункова схема визначення діючих на опору навантажень: *a* - профільна проекція; *b* - фронтальна проекція; О - центр окружності шару; *O₁* - центр окружності зміщеної кулі; *δ* - величина контактної деформації, м; *Fr* - притискаюча сила, Н; *2a* - ширина кільця контакту, м; *D_w* - діаметр кулі, м; *D_k* - діаметр окружності контакту, м; ΔD - величина зменшення діаметра кулі, м; *F* - нормальне навантаження, Н.

Початкові умови для визначення характеристик взаємодії наведені в таблиці 1.

Таблиця 1 - Початкові умови до вирішення контактної задачі

Параметр	Умовне позначення	Значення
1	2	3
Матеріал шарів		ШХ15
Межа міцності при циклічному навантаженні для ШХ15, МПа	$\sigma_{-1ШХ15}$	804
Межа витривалості на зрушення ШХ15, МПа	$\tau_{-1ШХ15}$	284
Коефіцієнт Пуассона	μ	0,28
Модуль пружності	E	$2,15 \cdot 10^{11}$
Матеріал втулок		Ст ХВГ
Межа міцності при циклічному навантаженні ХВГ, МПа	$\sigma_{-1СТХВГ}$	804
Межа витривалості на зрушення ХВГ, Мпа	$\tau_{-1СТХВГ}$	284
Коефіцієнт Пуассона	μ	0,3
Модуль пружності	E	$2,1 \cdot 10^{11}$
Кут конусності втулок, град.	α	60
Діаметр кулі, м	D_w	0,06
Притискна сила, кН	F_a	27

Підставивши вихідні дані з таблиці 1 визначимо характеристики контактної взаємодії ланок буксового вузла. Результати розрахунку наведені в таблиці 2:

Таблиця 2 - Результати визначення параметрів контактної взаємодії

Параметр	Умовне позначення	Значення
Діаметр кола контакту кулі і конус, м	D_k	0,052
Ширина зони контакту, м	a	0,0062
Максимальна контактне напруження в зоні контакту, МПа	σ_{max}	182
Зменшення діаметра кулі, м	ΔD_w	$4,13 \times 10^{-7}$

Рішення завдання напружено-деформованого стану за допомогою методу кінцевих елементів (МКЕ) дозволить отримати загальну картину про вплив навантаження на геометричні характеристики вузла.

Розрахунок виконаємо для двох випадків навантаження:

1) Режим навантаження колеса відповідає безпечному руху вагонетки на заокругленні рейкового шляху (рис.3);

2) Навантаження на колесо максимального значення. Критичний режим навантаження, відповідний відразу вагонетки з рейок (рис.4).

Номограми результатів розрахунку *Ansys* напруженно-деформованого стану колісної опори для першого випадку приведено на малюнках нижче.

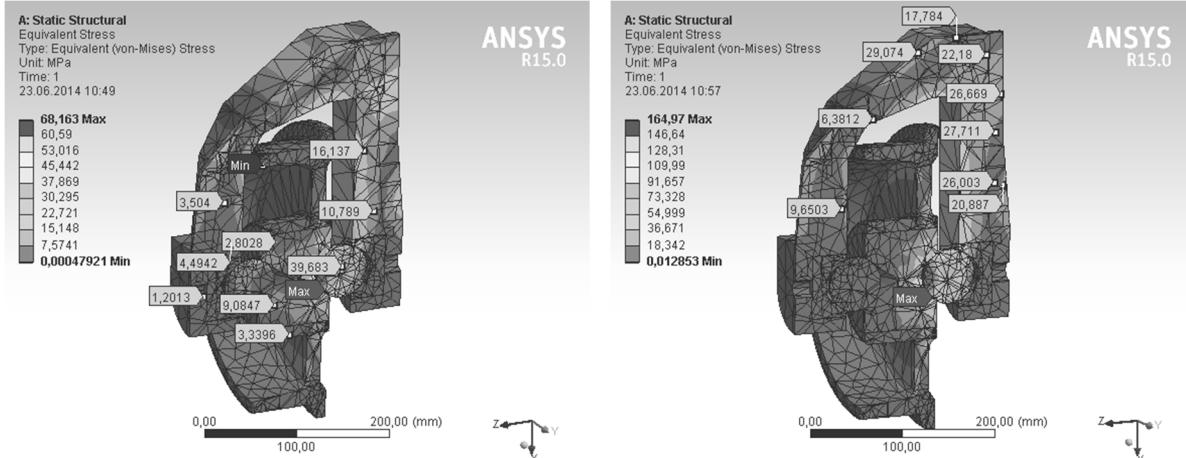


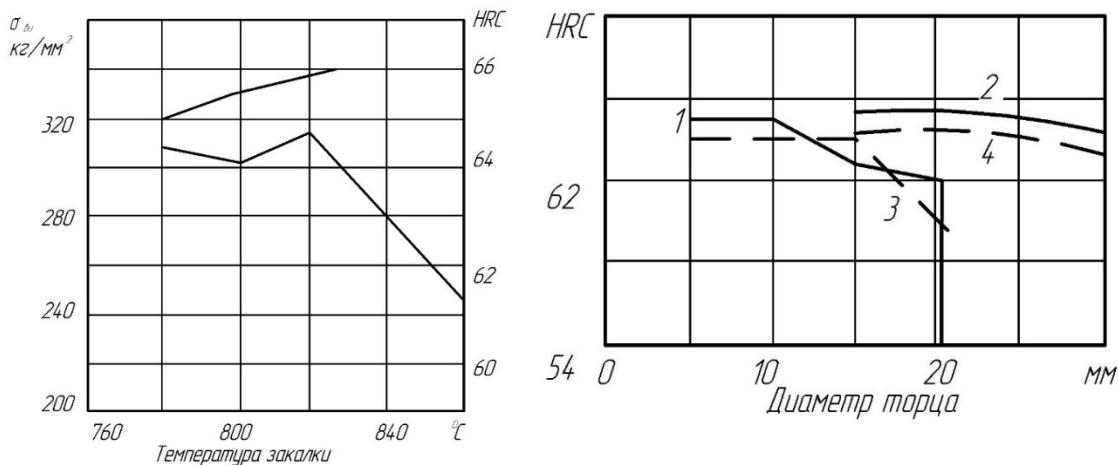
Рисунок 3 – Напруження ланок буксового вузла на заокругленні рейкового шляху

Рисунок 4 – Напруження ланок буксового вузла при критичних навантаженнях

Виготовлення втулок безпідшипникової опори можливо із декількох марок сталей. Зокрема, сталі 9Г2Ф та ХВГ забезпечують прийнятні експлуатаційні характеристики. Метою термічної обробки сталі є отримання мартенситної структури поверхні, як найбільш твердої складової. Із збільшенням твердості збільшується зносостійкість сталі. Твердість залежить, головним чином, від вмісту розчиненого в мартенситі вуглецю за типом впровадження, яка виходить в результаті гарту. Загартування складається з нагріву деталі до аустенітного стану, витримки при цій температурі, охолодження, відпустку.

Зі збільшенням кількості мартенситу, збільшується ступінь прожарюемості деталі. Для зняття внутрішніх напружень, що виникають в режимі нагрівання, доцільно проводити термообробку, що знижує напруги – відпуск.

Показники фізико-механічних властивостей сталі ХВГ наведені на рис. 5.



а) Механічні властивості в залежності від температури загартування

б) Твердість в залежності від діаметру зразка і умов охолодження:
 1-температура гарту 815°C , охолодження в селітрі; 2-температура закалювання 815°C , охолодження в воді; 3-температура гарту 835°C , охолодження в селітрі; 4-температура гарту 840°C , охолодження в воді

Рисунок 5 - Показники фізико-механічних властивостей сталі ХВГ

Охолодження відбувається в 10% -му водному розчині NaCl . Тривалість відпуску 1 год. З рисунку 5, а визначається оптимальна температура гартування сталі - $820\text{-}830^{\circ}\text{C}$.

Після виконується низькотемпературний відпуск. З графіка (рис. 6) видно, що при охолодженні у воді з температури 815°C забезпечується наскрізне прожарювання зразка з максимальною твердістю 63-65 HRC, при температурі відпуска $100\text{-}150^{\circ}\text{C}$.

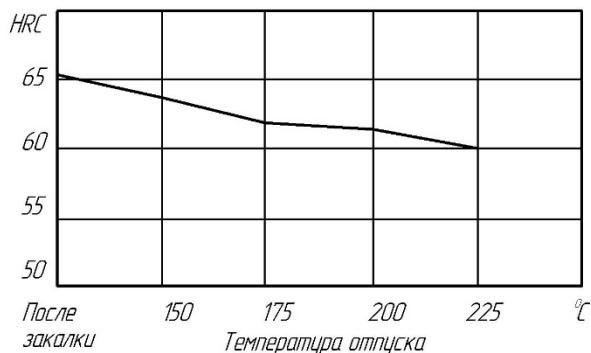


Рисунок 6 - Твердість залежно від температури відпуска

З проведеного аналізу можна зробити висновок, що, незважаючи на незначну розбіжність за хімічним складом, фізико-механічні властивості цілком задовільняють вимогам, що пред'являються до зносостійкості.

Режими загартування і відпustки для сталі ХВГ наведені в таблицях 3-4.

Таблиця 3 – Рекомендовані режими загартування

Ва	Температура закалювання	Охолодження				
		Середа	Температура, °C	Тривалість	Охолодження до 20 °C	Твердість HRC
I	810-830	Вода	20-40	До 200-250 °C	В маслі	64-66
II	840-860	Розплав селітри чи лугу	150-170	3-5 хв.	На повітрі	60-64

Таблиця 4 – Рекомендована середа відпуска

Призначення відпуску	Температура нагріву	Середа нагріву	Твердість HRC
Зняття напружень, стабілізація параметрів	140-160	Масло, селітра, луг	63-65
	160-180		62-64
	180-200		60-62
	200-250		58-60

Для зниження термічних напружень необхідно проводити низько-температурний відпуск. Відпуск здійснюється швидким переносом деталі в попередньо нагріту до температури 100..150 °C піч. Час витримки 1,5..2 години (рис. 7).

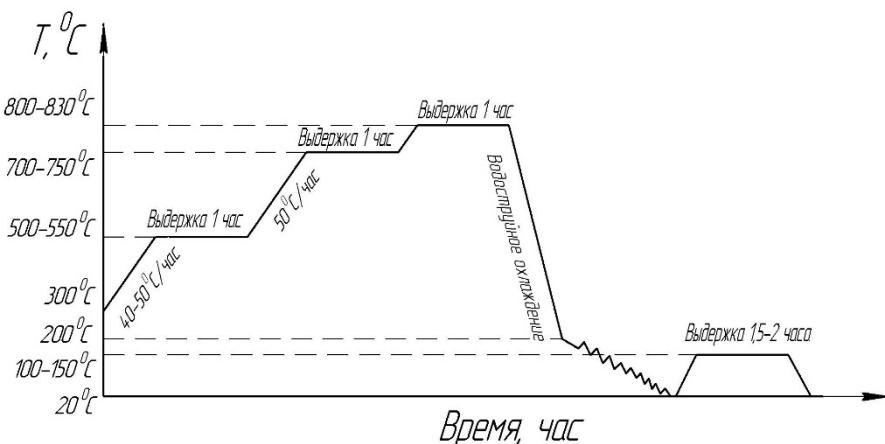
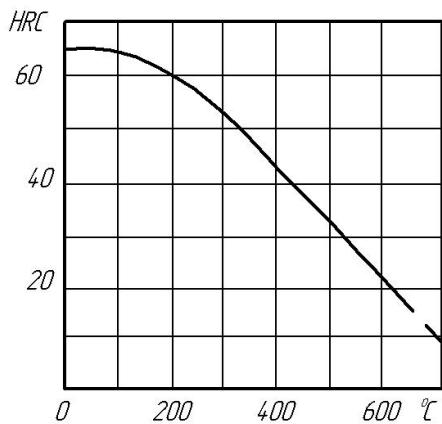


Рисунок 7 - Режим термообробки сталі ХВГ

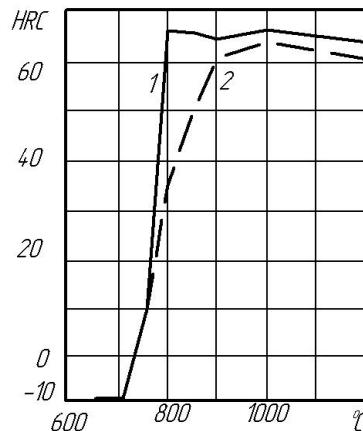
Як видно з графіків фізико-механічних властивостей, що характеризують сталь ХВГ, при товщині деталі 20 мм спостерігається суцільна прокалівамість. У разі застосування операції шліфування необхідно виконати відпуск при температурі 100-150 °C. При виникненні крихкого руйнування під час експлуатації необхідно застосовувати вуглецеві інструментальні сталі з невеликою прокалівамістю достатньої глибини.

Для зниження термічних напружень необхідно провести відпуск в печі. Відпуск проводиться швидким переносом деталі в попередньо нагріту до температури 100..150 °C піч. Витримувати необхідно 1,5..2 години.

Основні фізико-механічні властивості сталі ХВГ наведені на рис. 8 [4].



а) Твердість залежно від температури відпустки



б) Твердість залежно від температури загартування:
1 -тврдість на поверхні; 2 - тврдість в центрі. Діаметр зразка 20 мм.

Рисунок 8 – Фізико-механічні властивості сталі ХВГ

Приведені режими гартування та відпуску здатні забезпечити твердість поверхні втулок до 60 HRC, що дасть змогу підвищити ресурс буксового вузла, який працює в умовах фрикційної взаємодії.

Висновки. Забезпечення високого ресурсу фрикційних пар можливе шляхом відповідної термічної обробки працюючих поверхонь. Відповідно, було запропоновано технологію термообробки втулок буксового вузла для отримання високих показників поверхневої твердості. У роботі приведено вибір технології термообробки для підвищення поверхневої твердості деталей буксового вузла вагонетки на основі дослідження навантажень методом кінцевих елементів. Визначений напружено-деформований стан дозволив обґрунтувати марку сталі та встановити режими термообробки.

ЛІТЕРАТУРА

- Шляхи вдосконалення конструкції візка вантажного вагона / А.А. Босов, С.В. Мямлін, В.Я. Панасенко, І.В. Клименко // Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту - Д.: ДІТ, 2009. - № 29. - С. 27-32.
- Федоряченко С.А. Дослідження поведінки шахтної вагонетки в умовах динамічного взаємодії вихідних ланок ходової частини з рейковим полотном / Ю. Г. Федоряченко // Вісник Донбаської машинобудівної академії - Краматорськ: ДДМА, 2013. - № 1 (30). - С. 121 - 127.
- Джонсон, К. Механика контактного взаємодействия / Пер. с англ. // К. Джонсон. – М.: Мир, 1989. – 510 с.
- Шмыков А.А. Справочник термиста. Справочник. — 2-е изд., испр. и доп. — М.: Машгиз, 1952.

УДК 621.316.72; 622.9

**МЕХАНІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ПОВЕРХНЕВОГО ШАРУ МАТЕРІАЛІВ
ФРИКЦІЙНОЇ ПАРИ КОЛЕСО-РЕЙКА З УРАХУВАННЯМ ТЕПЛОФІЗИЧНИХ
ПРОЦЕСІВ В ЗОНІ КОНТАКТУ ПРИ ПЕРЕДАЧІ РУХУ ТЕРТЯМ**

К.А. Зіборов¹, В.Е. Дитюк², Д.А. Агарков³

¹кандидат технічних наук, завідувач кафедри конструювання технічної естетики і дизайну, Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», м. Дніпро, Україна, e-mail: ziborov.k.a@nmu.one

^{2,3}студент групи 132м-19-2, Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», м. Дніпро, Україна

Анотація. У роботі на основі теоретичних досліджень параметрів руху транспортного засобу по рейковому шляху сформульована математична модель взаємодії колеса і рейки на елементарній ділянці контакту при наявності нормальног і тягового зусилля. Використовуючи аналітичну модель отримана залежність, яка описує зміну усередненої температури на плямі контакту пари колесо-рейка від швидкості руху рейкового транспортного засобу. Визначено поточне значення модуля пружності матеріалу фрикційної пари в залежності від часу контакту.

Ключові слова: поверхневий шар, температура, фрикційна пара, рейковий транспортний засіб.

MECHANICAL PROPERTIES OF THE SURFACE LAYER OF FRICTION WHEEL-RATE MATERIAL MATERIALS TAKEN INTO ACCOUNT OF THERMAL PHYSICAL PROCESSES IN THE CONTACT AREA

K.A. Ziborov¹, V.E. Dytiiuk², D.A. Aharkov³

¹Ph.D., Head of Department of Engineering and Generative Design, Dnipro University of Technology, Dnipro, Ukraine, e-mail: ziborov.k.a@nmu.one

^{2,3}student of group 132m-19-2, Dnipro University of Technology, Dnipro, Ukraine

Abstract. In the work on the basis of theoretical studies of the motion parameters of the vehicle on the rail path, a mathematical model of the interaction of the wheel and the rail in the elementary contact area in the presence of normal and tractive effort is formulated. Using the analytical model, a dependence was obtained that describes the change in the average temperature at the contact point of the wheel-rail pair from the speed of the rail vehicle. The current value of the modulus of elasticity of the material of the friction pair depending on the contact time is determined.

Keywords: surface layer, temperature, friction steam, rail vehicle.

Вступ. Взаємодія тіл вже давно є актуальною темою для вивчення більшості вчених. Леонардо да Вінчі вважається одним з перших хто почав вивчати та досліджувати сили тертя. Тертя випливає як результат різних видів

складної взаємодії тіл, під час якої відбуваються механічні, фізико-хімічні, електричні процеси та ін. Пізнання природи тертя дає можливість отримати засоби і способи підвищення норм маси транспортних засобів, збереження стійкості їх руху та зниження зносу вихідних ланок і поверхонь, з якими вони контактиують.

Взаємодія тіл з рухомою точкою контакту є основою фізичних процесів, пов'язаних з переміщенням вантажів, та процесу кочення, що супроводжується зчепленням і реалізацією сили тяги або гальмування під час виконання основного робочого процесу. За основу процесу зчеплення прийнято вважати фрикційні взаємодії, що відбуваються між цими ланками і зовнішнім середовищем.

Надійна робота більшості сучасних високопродуктивних видів транспорту забезпечується умовами фрикційної взаємодії контактуючих поверхонь. Основною задачею при створенні нових високопродуктивних видів рейкових транспортних засобів полягає в тому, щоб обґрунтувати можливості підвищити ефективність використання сили тяги без збільшення зчіпної маси транспорту [1].

Поява сучасних інформаційних технологій надає можливість приймати для досліджень вихідні передумови та розрахункові схеми з урахуванням конструктивних особливостей транспортних систем не тільки для квазістатичних умов, а й виконувати дослідження динамічних параметрів системи «транспортний засіб – зовнішнє середовище».

Мета роботи полягає в визначенні механічних властивостей поверхневого шару матеріалів та фізичних процесів, що відбуваються в зоні фрикційної взаємодії пари колесо-рейка.

Матеріали дослідження. Коефіцієнт зчеплення – це відношення тягового зусилля Q_{xy} так зване зусилля опору, прикладеного по дотичній до поверхні, яка контактує, до сили нормального тиску на цю поверхню Q_z .

$$f = \frac{Q_{xy}}{Q_z} = \frac{\tau}{p} \leq \mu_0, \quad (1)$$

де τ – зсувні напруги, що виникають на майданчику контакту; μ_0 – коефіцієнт граничного тертя.

Вид і стан поверхні контактуючих тіл, температура поверхні на майданчику контакту, наявність або відсутність мастила, геометричні та реологічні характеристики контактуючих тіл, характер прикладання навантаження та вид напруженого стану матеріалу на майданчику контакту – це найважливіші фактори від яких залежить коефіцієнт зчеплення.

Рух тіла в певний момент часу прийнято визначати вектором лінійної швидкості довільно обраної відлікової точки тіла та вектором його окружної

швидкості в обертальному русі щодо певної вісі, яка проходить через цю точку.

Вплив цих факторів призводить до того, що при кожному оберті колеса ймовірність збігу одних і тих же точок O_1 та O_2 (рис.1) на рейковому шляху та поверхні колеса є випадковим.

Таким чином, рух вихідних ланок транспортних засобів характеризується співвідношенням швидкості руху V_1 і окружної швидкості обертання V_2 (рис.1). Отже, ці співвідношення можна характеризувати як величину відносного ковзання (прослизання).

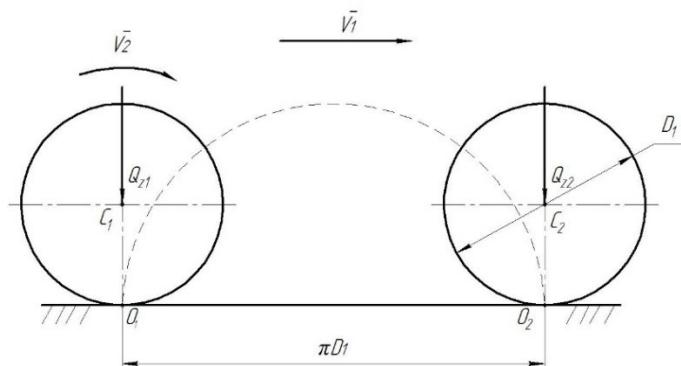


Рис. 1 – Схема руху колеса рейкового транспортного засобу

Швидкість ковзання визначається як векторна різниця швидкостей в точці дотику поверхонь (рис.2).

$$\bar{V}_k = \bar{V}_2 - \bar{V}_1 \quad (2)$$

Емпіричні залежності коефіцієнта зчеплення від швидкості відносного ковзання колеса і рейки показують [2, 3], що під час збільшення швидкості відносного ковзання значення коефіцієнта зчеплення починає зростати, а після досягнення певного значення навпаки зменшується.

Отже, при кожному обороті колеса 1 на його опорному майданчику під дією зовнішніх сил і внутрішньої енергії матеріалу на рейці 2 виникають пружні і пластичні деформації, як наслідок, елементи фрикційної пари колесо–рейка вступають в контакт по майданчику кінцевих розмірів (рис.2) [4].

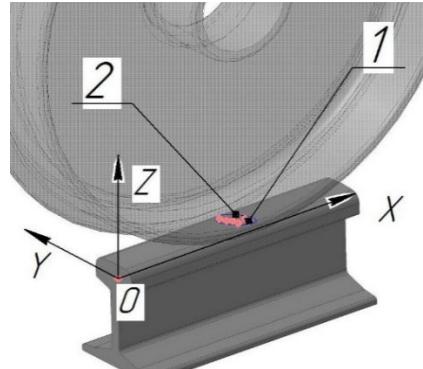


Рис. 2 – Опорна поверхня фрикційної пари колесо–рейка

В результаті високих фактичних тисків і швидкостей ковзання відбувається порушення енергетично рівноважного стану, що викликає появу значних температур в областях взаємодії і призводить до суттєвих змін властивостей поверхневих шарів, викликаючи в них механічні та температурні напруги, сприяючи протіканню хімічних реакцій, активізуючи взаємну дифузію [2, 4, 5]. У поверхневих шарах матеріалів фрикційної пари (в першу чергу вихідних ланок транспортних засобів), що зазнають великі деформації, відбувається утворення і зростання тріщин, накопичення втоми, що в кінцевому рахунку, змінюю їх геометрію і порушує умови нормального функціонування.

Колесо, що рухається по рейці може перебувати у трьох режимах: $Q_{xy} = 0$ – вільному, $Q_{xy} < 0$ – гальмівному або $Q_{xy} > 0$ – тяговому режимі. З виразу (1) випливає, що при $\tau = 0$ коефіцієнт зчеплення також буде дорівнювати нулю. А при збільшенні зсувного навантаження спостерігається збільшення коефіцієнта зчеплення. При цьому на майданчику фактичного контакту Φ відбуваються найбільш локалізовані в незначному поверхневому шарі процеси (рис.3).

При збільшенні граничної величини τ і постійному часі її зростання до цієї межі, швидкість деформування буде збільшуватися. Якщо деформація перевищує деяку величину, відбувається, так званий, зрив зчеплення, і збільшення швидкості відносної деформації призводить до зменшення коефіцієнта зчеплення.

Як показує вищезазначений аналіз при вивчені цих процесів необхідно враховувати фізико-механічні властивості поверхневих шарів, які відрізняються від властивостей матеріалу, розташованого на значній відстані від його поверхні. Ця різниця з'являється в результаті хімічних і структурних перетворень, механічного та теплового впливу, зносу і контактної втоми матеріалів взаємодіючих поверхонь фрикційної пари колесо–рейка.

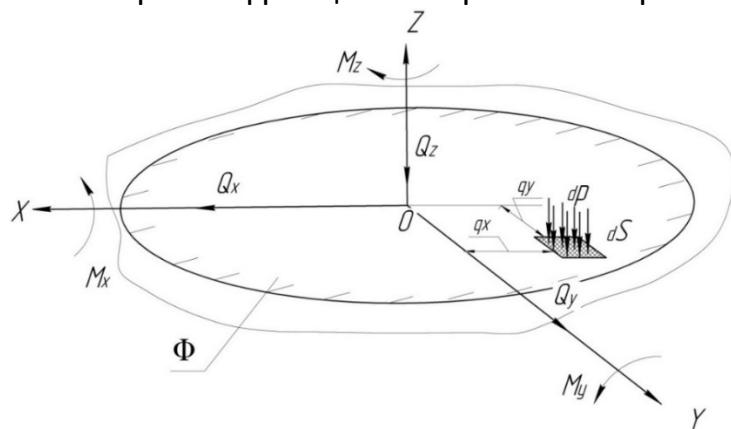


Рис. 3 – Зовнішні сили, що діють на майданчику контакту

Підвищення температури істотно впливає на такі механічні характеристики конструкційних матеріалів, як повзучість і тривала міцність. Повзучість

супроводжується релаксацією напруги – мимовільним зменшенням напруги з часом при незмінній деформації. Швидкість релаксації напруги зростає при підвищенні температури. Температурний коефіцієнт лінійного розширення $\alpha = \frac{1}{r} \frac{dr}{dT}$ і температурний коефіцієнт модуля пружності $\eta = \frac{1}{E} \frac{dE}{dT}$

пов'язані між собою співвідношенням $\eta + \alpha \cdot m = 0$ або $(\eta/\alpha) = -m = const$, де r і m – постійні, що характеризують параметри кристалічної решітки [6].

У літературі [7] відомо опис залежності, яка описує вплив температури на безрозмірний параметр, що характеризує відношення поточного значення модуля пружності матеріалу до модуля пружності при нормальній температурі:

$$E = E_0 \exp \left[\alpha_1 \left(1 - \frac{T_p - T_0}{T_p - T} \right) \right], \quad (3)$$

де E_0 – модуль пружності при нормальній температурі T_0 ; T_p – температура пластичності стали; α_1 – коефіцієнт пропорційності.

При дослідженні процесу контакту колеса з рейкою цей факт може грати велике значення, оскільки температура поверхонь в центрі плями контакту може перевищувати температуру навколошнього середовища на кілька сотень градусів [1, 2], і при високих температурах, незважаючи на короткий термін її дії, метал стає м'якше, що призводить до відриву його частинок від поверхні. Номінальна твердість бандажа колісної пари HB_1 транспортного засобу менше ніж у рейки HB_2 , тому при аналізі процесу приробітку деформується м'якший матеріал – бандаж. При охолодженні відірвані частки в силу своєї невеликої маси отримують високу твердість, і, в кінцевому підсумку, являють собою абразив, який формує поверхню тертя і створює умови для підвищення коефіцієнта тертя, діючи як додатковий фактор росту тягового зусилля.

Аналітичний опис того, що відбувається переміщення шарів матеріалу контактуючих поверхонь має ґрунтуватися на істотно нелінійних співвідношеннях між діючими силами, деформаціями і відносним ковзанням матеріалу. Ці закони повинні характеризувати несталий стан матеріалу бандажа і рейки при нестационарних режимах роботи (особливо при зриві зчеплення), а також враховувати здійснюючу при цьому роботу.

Розглянемо більш докладно процес взаємодії при накоченні колеса на ділянку рейки. Як зазначено в [4] контакт буде здійснюватися по майданчику кінцевих розмірів, що має форму еліпса з великою і малою піввісіми, відповідно, a і b .

При нагріванні тіла на величину ΔT його відносне подовження складе $\varepsilon = \frac{\Delta l}{l}$. Тобто залежність подовження від температури підкоряється закону $\varepsilon = \alpha_0 \Delta T$. Можлива і зворотна задача: при миттєвій деформації, коли енергія деформації не встигає розсіятися, температура тіла підвищиться на величину $\Delta T = \frac{\varepsilon}{\alpha_0}$.

З урахуванням розсіювання енергії, залежність буде мати вигляд $\Delta T = e^{-kt} \frac{\varepsilon}{\alpha_0}$. З огляду на те, що напруги в тілі $\sigma = E\varepsilon$, можна записати:

$$\Delta T = e^{-kt} \frac{\sigma}{E\alpha_0}, \quad (4)$$

де k – коефіцієнт, що характеризує розсіювання енергії; t – час; σ – напруги; E – модуль пружності матеріалу; α_0 – коефіцієнт теплового розширення.

Час t тривалості контакту взаємодії колеса з рейкою в межах зони контакту t_u , тобто $t_u = \frac{2a}{V_1}$, причому температура (без урахування зміни модуля пружності) за цей час буде:

$$\Delta T = \frac{1}{4} e^{-kt} \frac{1,5Q}{\pi ab E_{np} \alpha_0} \int_{-1}^1 \sqrt{1 - \xi_x^2} d\xi_x \int_{-1}^1 \sqrt{1 - \xi_y^2} d\xi_y, \quad (5)$$

де $E_{np} = \frac{E_1 E_2}{E_1 + E_2}$ – наведений модуль пружності системи колесо–рейка.

Або, після інтегрування:

$$\Delta T = 0,9255 e^{-kt} \frac{1,5Q}{\pi ab E_{np} \alpha_0}. \quad (6)$$

На рис. 4 представлена залежність, яка описує зміну усередненої температури на плямі контакту пари колесо–рейка від швидкості руху рейкового транспортного засобу. Як видно з графіка, із збільшенням швидкості руху рейкового транспортного засобу, температура в зоні контакту також майже лінійно зростає до швидкості 10–15 м/с. При швидкості 40–60 м/с крива виполажується, тобто температура в зоні контакту майже не змінюється.

Перетворимо рівняння (3) до виду:

$$E = E_0 \exp \left[\alpha_1 \frac{\Delta T}{T_\Pi - T_0 - \Delta T} \right], \quad (7)$$

де ΔT – перевищення температури контакту над нормальнюю (T_0); E_0 – наведений модуль пружності при початковій температурі (20°C).

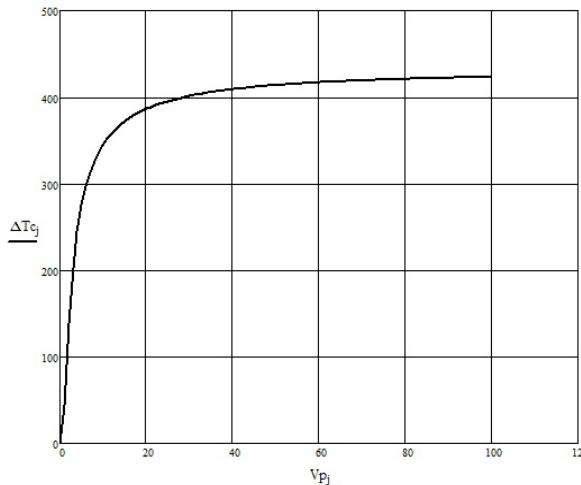


Рис. 4 – Значення усередненої температури на плямі контакту від швидкості руху рейкового транспортного засобу

Як випливає з матеріалів [4, 6, 7], модуль пружності матеріалу впливає, в основному, на коефіцієнти α і λ , причому зменшення модуля пружності прямо пропорційно впливає на зменшення коефіцієнту α і зворотно пропорційно до зміни λ .

Модуль пружності матеріалу в залежності від швидкості руху рейкового транспортного засобу:

$$E = E_0 \exp \left\{ \frac{-\alpha_1 \frac{0,9255Q}{\pi ab \alpha_T E_0} \exp \left(-k \frac{a}{V} \right)}{T_P - T_0 - \frac{0,9255Q}{\pi ab \alpha_T E_0} \exp \left(-k \frac{a}{V} \right)} \right\}. \quad (8)$$

На рис. 5 представлений графік залежності наведеного модуля пружності пари колесо–рейка від швидкості руху рейкового транспортного засобу.

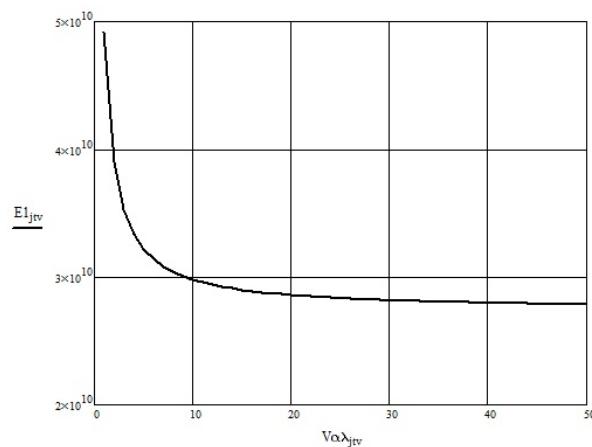


Рис. 5 – Залежність значення наведеного модуля пружності фрикційної пари колесо–рейка від швидкості руху рейкового транспортного засобу

Як видно з графіка, із збільшенням швидкості руху рейкового транспортного засобу, внаслідок підвищення температури в зоні контакту, модуль пружності спочатку знижується досить інтенсивно, а при швидкості 18–20 м/с – крива виполажується, тому що температура в зоні контакту стабілізується.

Висновок. При взаємодії тіл з рухомою точкою контакту необхідно враховувати фізико-механічні властивості поверхневих шарів, які відрізняються від властивостей матеріалу, розташованого на значній відстані від його поверхні. Ця різниця з'являється в результаті хімічних і структурних перетворень, механічного та теплового впливу, зносу і контактної втоми матеріалів поверхонь фрикційної пари колесо–рейка.

ЛІТЕРАТУРА

1. Голубенко, А.Л. Сцепление колеса с рельсом / А.Л. Голубенко – 2-е изд. доп. и пер. – Луганск: Изд-во ВУГУ, 1999. – 476 с.
2. Костюкевич, А.И. Экспериментальное исследование коэффициента трения при качении со скольжением / А.И. Костюкевич // Вісник СНУ ім. В. Даля. – 2011. – № 4(158). – ч.1. – С. 14–19.
3. Вериго, М.Ф. Взаимодействие пути и подвижного состава / М.Ф. Вериго, А.Я. Коган. – М.: Транспорт, 1986. – 559 с.
4. Франчук, В.П. Взаємодія тіл з рухомою точкою контакту / В.П. Франчук, К.А. Зіборов. – Дні-про: НГУ, 2017. – 96 с. – Режим доступу: <http://www.nmu.org.ua>.
5. Крагельский, И. В. Трение и износ / И.В. Крагельский. – М.: Машиностроение, 1968. – 276 с.
6. Беляев, Н. М. Сопротивление материалов. / Н.М. Беляев. // Глав. ред. физ-мат. лит.: «Наука», 1976. – 608 с.
7. Минов Д. К. Повышение тяговых свойств электровозов и тепловозов с электрической передачей. – М.: Транспорт, 1965. – 266 с.
8. Зіборов, К.А. Властивості фрикційної пари колесо–рейка, які впливають на процес передачі руху тертям / К.А. Зіборов, Г.К. Ванжа // Вісник Донбаської державної машинобудівної академії. – 2011. – № 4(25). – С. 226–233.

УДК 621.822

ІНЖИНІРИНГ ОПОРИ КОВЗАННЯ КОЛІНЧАСТОГО ВАЛУ ПРЕСА РЕВОЛЬВЕРНОГО ТИПУ

К.А. Зіборов¹, Т.О. Письменкова², М. Цонда³

¹кандидат технічних наук, завідувач кафедри конструювання технічної естетики і дизайну, Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», м. Дніпро, Україна, e-mail: ziborov.k.a@npu.one

²кандидат педагогічних наук, доцент кафедри конструювання технічної естетики і дизайну, Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», м. Дніпро, Україна, e-mail: pismenkova.t.o@nmu.one

³студент групи 132м-19-2, Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», м. Дніпро, Україна

Анотація. Проведено аналіз умов експлуатації ланок механічної частини приводу преса револьверного типу, що відрізняються високим зносом в важких режимах роботи. Було визначено показники якості виробу і етапів технологічного процесу його отримання; обрано метод визначення показників якості, запропоновані засоби вимірювання, що забезпечують задану точність.

Ключові слова: прес револьверного типу, опора ковзання, інженерно-технічна діяльність, показники якості виробу.

ENGINEERING OF CRANKSHAFT SUSPENSION SUPPORT OF REVOLVER TYPE

K.A. Ziborov¹, T.O. Pismenkova², M. Tsonda³

¹Ph.D., Head of Department of Engineering and Generative Design, Dnipro University of Technology, Dnipro, Ukraine, e-mail: ziborov.k.a@nmu.one

²Ph.D., Associate Professor of the Department of Engineering and Generative Design, Dnipro University of Technology, Dnipro, Ukraine, e-mail: pismenkova.t.o@nmu.one

³ student of group 132m-19-2, Dnipro University of Technology, Dnipro, Ukraine

Abstract. The operation conditions of the mechanical part of the revolver type press are distinguished, characterized by high wear in heavy modes of operation. The quality of the product and the stages of the technological process of its production were determined; the method of determination of quality indicators is chosen, the offered measuring instruments that provide the given accuracy.

Keywords: revolver type press, sliding bearing, engineering activity, product quality indicators.

Вступ. Інженерія – сфера технічної діяльності, що включає в себе цілий ряд спеціалізованих областей та дисциплін, і яка спрямована на практичне застосування і використання наукових, економічних, соціальних і практичних знань з метою звернення природних ресурсів на користь людини.

Цілі інженерної діяльності – винахід, розробка, створення, впровадження, модернізація, ремонт і обслуговування техніки, матеріалів або процесів.

Сучасне розуміння інженерної справи охоплює три види інженерно-технічної діяльності:

- дослідницька (науково-технічна) діяльність;
- конструкторська (проектна) діяльність;

- технологічна (виробнича) діяльність.

У сучасній економічній системі інженерно-технічна діяльність здійснюється на різних етапах життєвого циклу продукції. Тому важливо при створенні (модернізації) продуктів інженерно-технічної діяльності виконувати аналіз умов роботи (кінематичні, силові характеристики), обґрунтовано вибирати матеріали вузлів і деталей, прогнозувати економічну ефективність технічних рішень.

Інформаційні технології в інженерно-технічній діяльності дозволяють істотно скоротити терміни проектування. Різні види САПР (CAD, CAE, CAM, CAPP і т.і.), скорочуючи витрати і трудомісткість проектування, підвищують його якість.

Мета роботи – виконати інжиніринг опори ковзання колінчастого валу пресу револьверного типу з дослідженням параметрів матеріалу шатунного вкладиша сучасними засобами САПР.

Матеріали дослідження.

Аналітична задача. Силікатна цегла – це недорогий рядовий будівельний матеріал і собівартість його виготовлення повинна бути мінімальною. Застосування дорогої устаткування для випуску рядових силікатних виробів часто не віправдане, тому багато заводів в даний час проводять модернізацію в рамках прийнятних бюджетів. Силікатну цеглу формують з сировинної суміші на пресах.

Прес револьверний призначений для формування силікатної цегли, яка виготовляється зі зволоженої суміші піску та вапна. Прес відноситься до криовошипно-важильного типу машин з періодичним обертанням столу. Повний цикл роботи пресу здійснюється за один оберт колінчастого валу.

Колінчастий вал приводного пристрою преса (рис. 1, а) встановлений на підшипниках ковзання. Підшипник ковзання є парою обертання. Він складається з опорної ділянки вала і вкладиша (рис. 1, б), встановленого на ньому з зазором, заповненим мастильним матеріалом.



Рисунок 1 – Колінчастий вал приводного пристрою пресу

Робота револьверного преса припускає великі і різко імпульсні навантаження на кінематичні вузли механізму перетворення руху, характерні для

роботи поршневого елемента. Виходячи з цього та враховуючи можливість забруднення і недоліків змащування при роботі, для підшипникового матеріалу лімітуючими факторами є: опір схоплювання (матеріал вкладиша не повинен зчіплюватися з шипом), міцність на стискання, опір на втому, деформованість (властивість пристосовуватися до перекосів, властивість включати сторонні частинки, особливо абразивні), коефіцієнт сухого і напіврідинного тертя, корозійна стійкість, структура матеріалу, теплопровідність, собівартість.

З огляду на вищевикладене, необхідно вирішити такі завдання: виявити особливості роботи опорних вузлів револьверних пресів; розробити 3D модель підшипника ковзання та процесу силового навантаження розглянутих підшипників; провести теоретичні дослідження, встановити вплив різних чинників на експлуатаційні характеристики і визначити оптимальні конструктивні параметри підшипників; провести інженерний і кінцевоелементний розрахунки, що дозволяють проводити різноманітні обчислення з будь-якими геометричними параметрами підшипників і при будь-якому напрямку зовнішнього навантаження.

Конструкторсько-технологічна задача. Надійність і ресурс кінематичного механізму перетворення руху багато в чому визначає міжремонтний ресурс преса і витрати на його ремонт. Збільшення міжремонтного ресурсу підшипників ковзання, а також використання більш економічних антифрикційних матеріалів істотно знижує експлуатаційні витрати і собівартість виробленої продукції або послуги, що виконуватиметься за допомогою машин і механізмів подібного типу.

Привод цього преса містить: асинхронний короткозамкнений двигун 4А200М4У3 ($N=37 \text{ кВт}$, $n_{\text{дв}}=1500 \text{ об/хв}$); клинопасову передачу; редуктор Ц2У-250 із передаточним числом $U_p = 8,25$; відкриту зубчасту передачу з модулем $m = 20 \text{ мм}$ (шестерню $Z_1 = 16$ та колесо $Z_2 = 65$).

Визначимо параметри приводу та пресу (у відповідності до кінематичної схеми): передавальне число пасової передачі, передавальне число відкритої зубчастої передачі, загальне передавальне число приводу пресу, крутний момент на колінчастому валу приводу, радіальне навантаження на підшипнику. При відомому значенні загального передавального числа приводу преса визначимо, відповідно, частоту і кутову швидкість обертання колінчастого вала.

Основними причинами руйнування підшипників ковзання, як сказано вище, є знос і заїдання, тому основні розрахунки зводяться до усунення цих причин. Для цього визначимо середній тиск на поверхні підшипника, який мав би перевищувати певні норми, щоб не було видавлювання мастила,

швидкого спрацювання антифрикційного шару і нагрівання підшипника і цапфи колінчастого валу [1-3].

Обчислення реакцій підшипників колінчастого вала навіть при малій кількості кривошипів представляє трудомістку роботу. Причина полягає не тільки в статичній невизначеності вала, а й в тому, що навантаження змінюється в часі не тільки за величиною, а й у напрямку, і, крім того, жорсткість вала в різних його положеннях є різною. Графічний спосіб вирішення за допомогою коефіцієнтів Максвелла відомий по роботі [4].

Так як однією з умов сприятливого режиму роботи підшипникового вузла є необхідність забезпечення відповідного режиму тертя, важливо знати швидкість V_1 , при якій починається перехід від граничного тертя до напіврідинного. Її можна визначити з формули Фогельполя:

$$V_1 = \frac{R}{10^7 c \mu V}, \quad (1)$$

де $V = \frac{\pi d^2 l}{4}$ – робочий об’єм підшипника, м^3 ; μ – динамічна в’язкість мастила, $\text{Нкс}/\text{м}^2$; c – постійний коефіцієнт, який призначається за рекомендаціями довідкової літератури [3]. Для бронзового матеріалу вкладиша $c = 2\dots 3$.

Замінивши у формулі Фогельполя $p = \frac{R}{l \cdot d}$, отримаємо:

$$V_1 = \frac{p}{1,5 \cdot 10^8 c \mu} \quad (2)$$

Використовуючи параметри масла И20А (ГОСТ 17479.4-87) для передбачуваної температури роботи $t=50^\circ\text{C}$ і його динамічної в’язкості $\mu = 0,015 \div 0,021 \text{ Па} \cdot \text{с}$, що застосовується для змащення підшипникового вузла, визначимо величину швидкості $V_1 = \frac{4,41 \times 10^6}{1,5 \cdot 10^8 \cdot 2 \cdot 30} = 4,9 \times 10^{-2} \text{ м}/\text{с}$.

Окружна швидкість обертання колінчастого валу приводу револьверного преса при заданих параметрах в сталому режимі руху $V_{KB} = \frac{\omega_{KB} \times d}{2} = \frac{2,75 \times 0,18}{2} = 0,2475 \text{ м}/\text{с}$.

Величина зазору в підшипнику впливає на несучу здатність мастильного шару, а тим самим і на вантажопідйомність підшипника, яка тим більше, чим менше цей зазор. Тому чим більше середній питомий тиск в підшипнику і чим менше швидкість цапфи, тим меншим приймається зазор в підшипнику. Навпаки, при малих тисках і великих швидкостях потрібно приймати більший зазор в підшипнику (його величина залежить і від в’язкості масла), оскільки в підшипнику з малим зазором цапфа працює в нестійкому режимі, відбувається надмірний нагрів, а в гіршому випадку – стирання ненавантаженої частини підшипника. При відсутності інформації про величину діаметрального зазору можна скористатися рекомендаціями [2,

3]. Для малого числа обертів $n_{KB} = 26,3 \text{об/хв}$ і при відносно великих питомих тисках $p = 4,41 \text{ МПа}$ отримаємо наступні рекомендації: $\delta = (1,5 \div 6,5)d \cdot 7 \times 10^{-3}$.

Для подальшого проведення дослідження працездатності підшипників ковзання колінчастого вала преса револьверного типу складемо 3-D модель колінчастого вала в зборі (рис. 2).

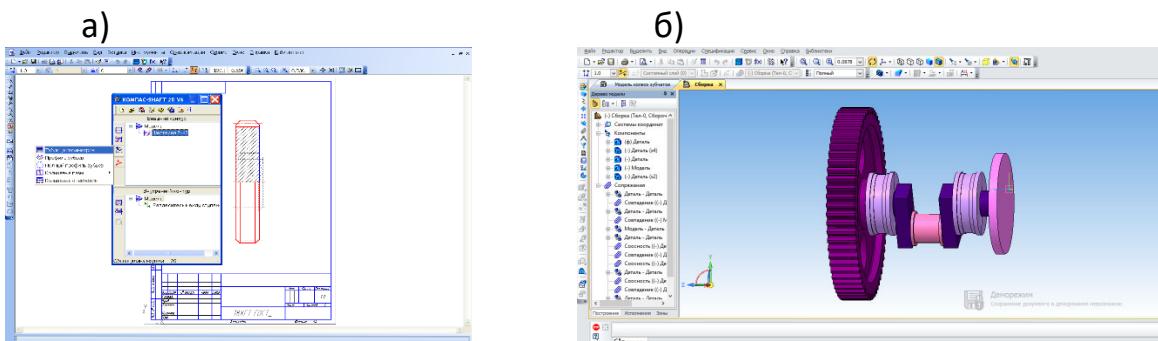


Рисунок 2 – Етап побудови (а) та 3-D модель колінчастого вала в зборі (б)

Для визначення деформацій шатунної шийки колінчастого вала при заданих параметрах навантаження застосуємо метод кінцевих елементів (МКЕ). Всі розрахунки проводяться в програмному середовищі *Ansys*.

Робоче навантаження, що сприймається шатунною шийкою відповідає розрахунковим навантаженням і задається як рівномірно розподілене навантаження по навантажений частині шатунного вкладиша по компонентах системи координат для забезпечення необхідного вектору сили. Генерування кінцево-елементної сітки виконано автоматично.

На рисунку 3 наведено зображення результатів моделювання НДС колінчастого вала. Для зручності виконання аналізу кольором виділена деформація шайки колінчастого вала, яка нас цікавить, в місці установки шатунного підшипника ковзання. За результатами моделювання очевидно, що максимальний прогин шайки вала в місці установки вкладиша шатунного підшипника ковзання знаходитьться в межах, рекомендованих умовами роботи револьверного преса.

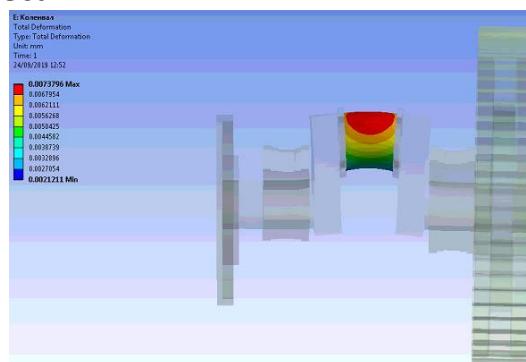


Рисунок 3 – Величина деформації прогину шайки колінчастого валу під шатунним вкладишем підшипника ковзання

За результатами чисельного моделювання отримані величини деформації по всій довжині шийки вала, визначена зона найбільшої деформації. Одержані данні дозволяють виявити основні можливості впливу на параметри фрикційного контакту, коректно обрати фізико-механічні властивості опорної поверхні фрикційної пари підшипника ковзання, технологію виготовлення та контролю показників якості виробу.

Основною причиною виходу з ладу підшипників ковзання є їх зношування, що супроводжується збільшенням зазорів і, отже, падінням несучої здатності. Найбільший знос підшипників ковзання, як показує практика, відбувається в момент пуску і зупинки машин (блізько 70 -80% загального зносу).

Вимоги до високої несучої здатності вкладиша підшипника ковзання, а значить, і високої міцності супроводжується одночасно і вимогою до властивостей підшипникових сплавів, які повинні бути досить м'якими, щоб менше зношувалася цапфа вала, що складається з більш жорсткого матеріалу. Тому використаємо біметалічну конструкцію, в якій м'який сплав наноситься на тверду поверхню основи досить тонким шаром. При роботі такої конструкції навантаження в рухомому сполученні сприймається більш твердим матеріалом. Наявність м'якого сплаву у верхньому шарі забезпечує хорошу приробленість.

З огляду на високу приробленість бронз і високі показники фізико-механічних властивостей чавуну, інтерес представляє використання в якості матеріалу підшипників ковзання високоміцних чавунів з нанесенням на поверхню тертя макрошару бронзи. Це можливо здійснити в результаті зниження або регуляризації висотних параметрів шорсткості, збільшення опорної довжини профілю поверхні механічними і електрофізичними методами.

Кожен спосіб зміцнюючої обробки забезпечує індивідуальний діапазон значень параметрів якості поверхневого шару [5]. Проаналізувавши можливості різних способів, для виконання роботи був обраний електроерозійний метод нанесення антифрикційного матеріалу на чавунний вкладиш ЕІЛ (рис. 4).



Рисунок 4 – Процес нанесення покриття при ЕІЛ

Поверхневий шар набуває змінену структуру і склад. Виникає дрібнокристалічна структура, утворюються інтерметалліди, нітриди, карбіди і т.д.; внаслідок чого значно підвищується поверхнева твердість. Деталі при цьому виді обробки не піддаються викривленню і не вимагають попереднього нагрівання і наступної термообробки.

Як матеріал електрода застосовувався твердий сплав бронзи БР ОСЦ 6-6-3. Для ЕІЛ використовувалася установка «Елітрон-22А».

Задача забезпечення показників якості. Для обраної технології нанесення бронзового покриття на робочу поверхню чавунних вкладишів підшипників ковзання (рис. 5, а) контроль товщини нанесеного покриття проводимо шляхом мікрометрування [6]. Вибираючи метод контролю якості несучого шару, опираємося на критерії надійності (ремонтопридатність) і працездатності (зносостійкість) опорних вузлів пресу, що дозволяють витримувати основні параметри в межах, встановлених вимогами нормативно-технічної документації та необхідних для виконання функціональної задачі.

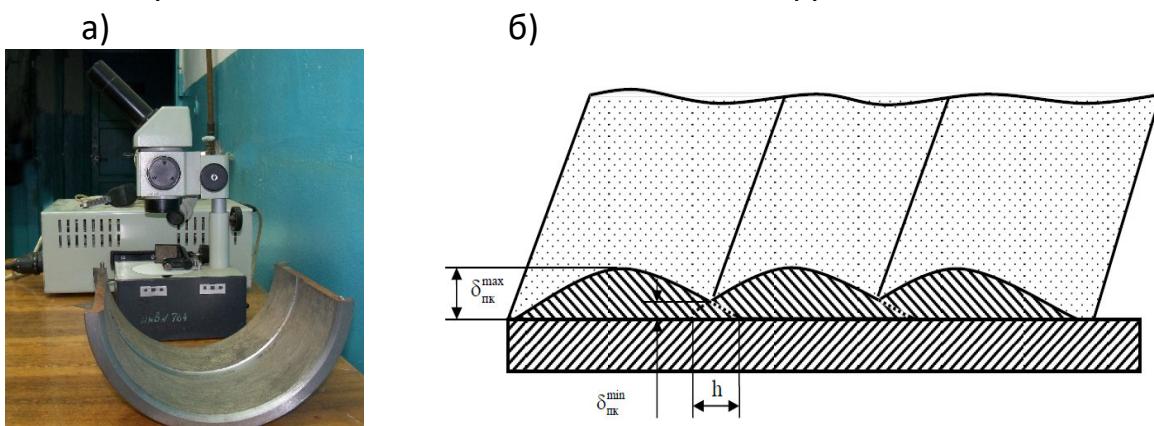


Рисунок 5 – Вкладиш з високоміцного чавуну (а) з нанесеним макрошаром бронзи на робочій поверхні (б)

В результаті процесу ЕІЛ змінений поверхневий шар являє собою сукупність великої кількості лунок (сукупність гребенів і западин), які істотно впливають на параметри шорсткості поверхні (рис. 5, б). Шорсткість утвореної поверхні визначається розмірами і геометрією двох груп нерівностей, які отримані в результаті взаємного перетину лунок, і які утворилися в результаті спотворення профілю лунки.

Засоби вимірювання є основою метрологічного забезпечення вимірювань. Вибір засобів вимірювання, є одним з найбільш важливих параметрів в забезпеченні якісного метрологічного забезпечення вимірювань.

Протягом всього технологічного процесу виготовлення вкладиша і контролю його параметрів використовувалися наступні засоби вимірювань:

штангенциркуль ШЦ-І-125-0,1 ГОСТ 166-89 (заготівельна, слюсарна, фрезерна, шліфувальна, контрольна операції) та товщиномір покриттів ТП-1 (нанесення покриття).

Для заданих параметрів вкладиша підшипника ковзання: діаметру, довжині і необхідної точності (з урахуванням отриманих раніше рекомендацій по величині зазору в підшипнику ковзання, а також імовірною приробленістю фрикційної пари: цапфа вала – вкладиш) приймаємо рішення про проведення 30 вимірювань по поверхні півкола вкладиша з кроком вимірювань $\sim 10\text{мм}$ (рис.5, а) [6].

Результатом будь-якого статистичного дослідження є отримання різних статистичних показників, що дозволяють оцінити рівень, варіацію, структуру, взаємозв'язки і динаміку досліджуваних явищ.

За результатами проведених вимірювань визначимо статистичні показники, які адекватно описують отримані значення шорсткостей поверхні вкладиша. Для цього скористаємося програмою *Mathcad* – системою комп'ютерної алгебри з класу систем автоматизованого проектування.

На рис. 6 наведені залежності для функції розподілу (1) і функції ймовірності (2) на зазначеному інтервалі проведених вимірювань шорсткості поверхні вкладиша підшипника ковзання.

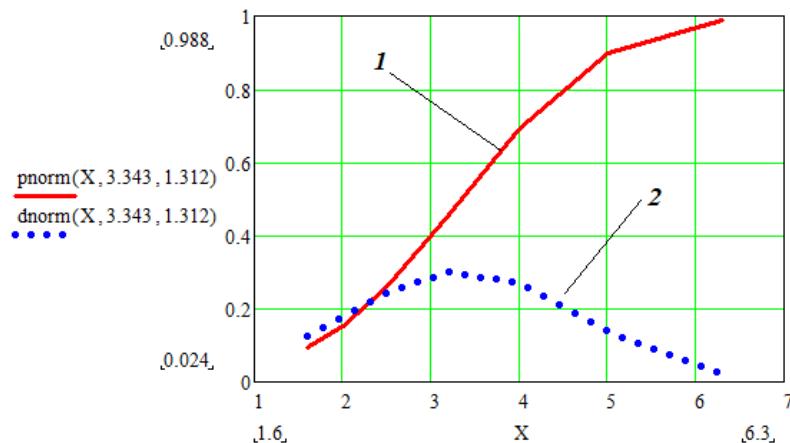


Рисунок 6 – Залежності для функції розподілу (1) і функції ймовірності (2)

Отримані залежності дозволяють кількісно оцінити якість проведених вимірювань при проведенні експериментів і дати рекомендації по їх підвищенню. Так, наприклад, ймовірність попадання показників шорсткості до 5,0 мкм в інтервал значень, отриманих в результаті вимірювань і рекомендованих ГОСТ 2789-73 становить $p=0,897$; ймовірність попадання показників шорсткості від 2,0 мкм становить $p=0,847$; ймовірність попадання показників шорсткості від 2,0 до 5,0 мкм становить $p=0,744$. Це свідчить про відповідність одного з контролюваних параметрів отриманого покриття вкладиша (шорсткість) вимогам стандарту і якості проведених вимірювань.

Висновки. Проведено аналіз умов експлуатації ланок механічної частини приводу преса револьверного типу, що відрізняються високим зносом в важких режимах роботи. Сучасними засобами САПР були визначені показники якості виробу і етапів технологічного процесу його отримання; обрано метод визначення показників якості, запропоновані засоби вимірювання, що забезпечують задану точність.

На підставі проведених випробувань отримані статистичні показники (математичне очікування, середньоквадратичне відхилення), побудований закон розподілу, що дозволив оцінити якість спроектованого виробу і розробити рекомендації відносно забезпечення показників якості матеріалу поверхневого шару вкладишів опор ковзання.

ЛІТЕРАТУРА

1. Карасик И.И., Прирабатываемость материалов для подшипников скольжения. – М.: Наука, 1978.
2. Коровчинский В.И., Теоретические основы работы подшипников скольжения. – М.: Машгиз, 1959.
3. Орлов, П.И. Основы конструирования: Справочно-методическое пособие. В 2-х кн./ Под ред. П.Н. Учаева. – Изд. 3-е, испр. – М.: Машиностроение, 1988.
4. Р. Бюснен Автомобильный справочник. Техн. ред. А.Я. Тихонов, Б.И. Медель // Ленинград 1959, 963 с.
5. Самсонов В.В. и др. Электроискровое легирование металлических поверхностей. – Киев, «Наукова думка», 1976. – 269 с.
6. ГОСТ ИСО 12301-95 Подшипники скольжения. Методы контроля геометрических показателей и показателей качества материалов. – М: ИПК Издательство стандартов, 2000. – 57 с.

УДК: 372.862

ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ ВЫСОКОПРОЧНЫХ СПЛАВОВ В РАМКАХ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА

С.Д. Карпухин¹, С.А. Пахомова², М.В. Унчикова³

^{1,2,3}кандидат технических наук, доцент

e-mail: ¹dr.mgtu@yandex.ru, ²mgtu2013@yandex.ru, ³mgtu-gvi@yandex.ru

^{1,2,3}Московский Государственный Технический Университет им. Н. Э. Баумана, Россия

Аннотация. В работе проанализирована существующая методика исследования структуры и свойств высокопрочных никелевых сплавов. Показана важность развития новых методик обучения студентов технических вузов. Рассмотрены требования к лабораторно-практическим работам и оценки их выполнения и защиты. Представлены рекомендации для выполнения практического занятия бакалавра по направлению 22.04.01

«Материаловедение и технологии материалов». Обоснована важность раскрытия творческого потенциала студента в процессе его самостоятельной работы на занятии. Творческий подход заключается в том, что работа выполняется на основе системного анализа поставленной темы исследования с учетом технологических, экономических и экологических факторов.

Ключевые слова: методика лабораторно-практического занятия, самостоятельная работа студентов, исследования, сплавы, строение, эксплуатационные свойства, ролевая игра.

RESEARCH OF THE STRUCTURE AND PROPERTIES OF HIGH -STRENGTH ALLOYS IN THE EDUCATIONAL PROCESS

S. Karpukhin¹, S. Pakhomova², M. Unchikova³

^{1,2,3}Ph.D., assistant Professor

e-mail: ¹dr.mgtu@yandex.ru, ²mgtu2013@yandex.ru, ³mgtu-gvi@yandex.ru

^{1,2,3} Bauman Moscow State Technical University, Russia

Abstract. The paper analyzes the existing methodology for studying the structure and properties of high -strength Nickel alloys. The importance of developing new teaching methods for students of technical universities is shown. Recommendations for the implementation of the bachelor's practical training in the direction of 22.04.01 "Materials Science and Materials Technology" are presented. The importance of revealing the creative potential of the student in the process of his independent work in the classroom is justified. The creative approach consists in the fact that the work is performed on the basis of a systematic analysis of the set research topic, taking into account technological, economic and environmental factors.

Keywords: methods of laboratory-practical lesson, independent work of students, research, alloys, structure, performance properties, role-playing game.

Введение. В соответствии с федеральными государственными стандартами высшего профессионального образования для совершенствования подготовки студентов основные методические инновации в современном вузе должны быть связаны с использованием активных и интерактивных форм обучения, основанных на принципах взаимодействия, диалога, совместной работы по определенной проблеме [1]. Использование новых подходов является эффективным способом углубленного изучения наиболее важных и сложных разделов дисциплины [2, 3]. Понимание комплексных механизмов упрочнения современных сплавов, принципов легирования для обеспечения высокой термостабильности структурно-фазового состояния материалов требует актуализации знаний студентов о взаимосвязи структуры и свойств, а также закономерностях изменения структуры в результате технологических операций.

В связи с этим для детального анализа принципов разработки сплавов,

удовлетворяющих требованиям современной техники [4-7], необходимо монологическое изложение учебного материала на лекциях дополнить лабораторно-практическим занятием, которое включает обсуждение, исследование особенностей структуры сплавов, изучение современных высокотехнологичных научоемких процессов, используемых при получении изделий. Лабораторно-практическое занятие частично совмещает семинарское и лабораторное занятия [8-10], сочетает изучение вопросов теории с приобретением практических навыков и анализом полученных результатов, что способствует более глубокому усвоению материала студентами.

Цель работы – совершенствовать методы исследования свойств материалов на примере высокопрочных никелевых сплавов ввиду отсутствия краткого системного изложения материала в учебной литературе, а основными источниками информации являются монографии, материалы периодической печати и ресурсы информационной сети Интернет.

Основной материал. Лабораторно-практическое занятие

Лабораторно-практическое 4-часовое занятие разбито на 4 части: изучение особенностей строения жаропрочных материалов (часть 1); состава, структуры, типичной термической обработки, свойств и области применения деформируемых (часть 2) и литейных никелевых суперсплавов (часть 3), интерметаллидных сплавов на основе Ni_3Al (часть 4). Для повышения активности студентов при выполнении некоторых пунктов задания используются ролевые игры, т.е. преподаватель «назначает» студентов на должности инженеров-металловедов, инженеров-технологов, инженеров-термистов и т.д. При выполнении учебно-исследовательской работы студенты получают результаты, анализируют их и делают заключение в рамках предложенной должности.

В первой части занятия студенты, как инженеры-материаловеды, анализируют условия работы высокотемпературных деталей, механизм пластической деформации в зависимости от температуры, формулируют требования к составу и структуре для обеспечения стабильного состояния жаропрочных материалов [11].

Для закрепления знаний о взаимосвязи механизмов пластической деформации и способов упрочнения сплавов студенты «конструируют» жаропрочный материал, заполняя таблицу: механизмы высокотемпературной пластической деформации - способы повышения жаропрочности - требования к химическому и фазовому составу жаропрочных материалов [12].

Во второй части студенты изучают способы реализации базовых принципов разработки жаропрочных материалов на примере никелевых сплавов. Они анализируют химический и фазовый состав деформируемых

никелевых сплавов, исследуют влияние термической обработки на структуру и свойства дискового сплава ЭК151.

Для лучшего усвоения материала студенты сравнивают деформируемые никелевые сплавы по системам легирования, содержанию γ - и γ' -образующих элементов, фазовому составу, количеству γ' -фазы, жаропрочности.

Количество γ -фазы V' в сплавах в зависимости от содержания γ' -образующих элементов рассчитывают по формуле:

$$V' = 4,6222 [(Ti + Al + Nb + Ta + Hf) - 2], \quad (1)$$

где V' измеряется в % об., Ti, Al, Nb, Ta, Hf - содержание элементов в сплаве, ат. %.

Результаты сравнения представляют в виде диаграмм, выполняя ранжирование сплавов по пределу длительной прочности делают вывод о влиянии химического и фазового состава на жаропрочность сплавов.

Особенности термической упрочняющей обработки с учетом ее влияния на многообразие служебных характеристик современных деформируемых дисковых сплавов студенты изучают на примере сплава ЭК151. На основе этого сплава был разработан сплав ВЖ175, который по эксплуатационным показателям в настоящее время превосходит зарубежные аналоги [6].

Перед студентами, исполняющими в данном случае обязанности инженеров-термистов, ставится задача по определению оптимальных режимов термической обработки в зависимости от температуры эксплуатации сплава.

Студенты по фотографиям и схемам распределения напряжений и температур по сечению детали анализируют конструктивные особенности (рис. 1) и условия эксплуатации дисков турбины, и соответственно, требования к материалам. Достижение необходимого комплекса свойств дисковых сплавов ГТД по пределам прочности, текучести, ползучести, сопротивлению малоцикловой усталости является трудно реализуемой на практике задачей, т.к. требует использования различных по природе механизмов упрочнения - для повышения жаропрочности сплавы должны иметь крупнозернистую структуру, в то время как сопротивление усталости увеличивается при измельчении зерна. Согласно стандарту ASTM для температур эксплуатации до 750°C наиболее приемлема микроструктура с размером зерна от 10 до 30 мкм, для более высоких температур - 45...120 мкм. Формирование необходимого размера зерна может быть достигнуто за счет оптимизации режимов термической обработки, которая для дисперсионно-твердеющих сплавов включает закалку и старение и позволяет в широком диапазоне изменять балл зерна и размер γ' -фазы в зависимости от соотношения температур закалки и полного растворения γ' -фазы $T_{\text{пр.}\gamma'}$, т.к. рост зерна определяется присутствием γ' -фазы, тормозящей движение границ [3].

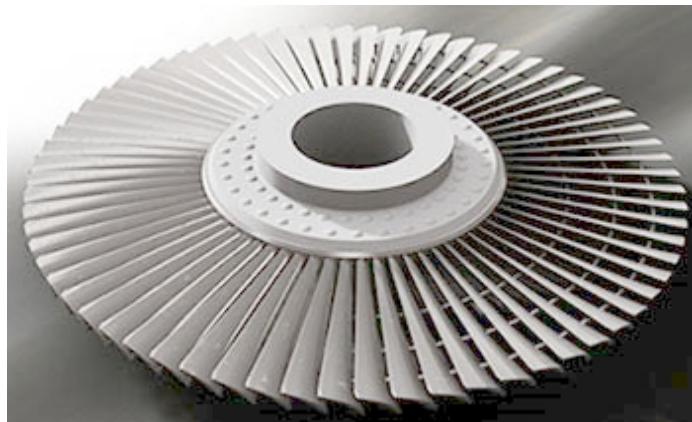


Рис. 1. – Диск турбины

Студенты исследуют микроструктуру сплава ЭК151 после различных режимов закалки (рис. 2) на компактном инвертируемом микроскопе GX-41, определяют балл зерна методом сравнения с эталонами шкал согласно ГОСТ 5639-82, рисуют схему упрочняющей термической обработки, указывают назначение и получаемые структуры после каждой операции, строят картограмму свойств в зависимости от температуры закалки сплава. Такой комплексный подход к исследованию структуры и свойств термически обработанного сплава позволяет сделать вывод о рекомендуемом режиме закалки в зависимости от рабочей температуры.

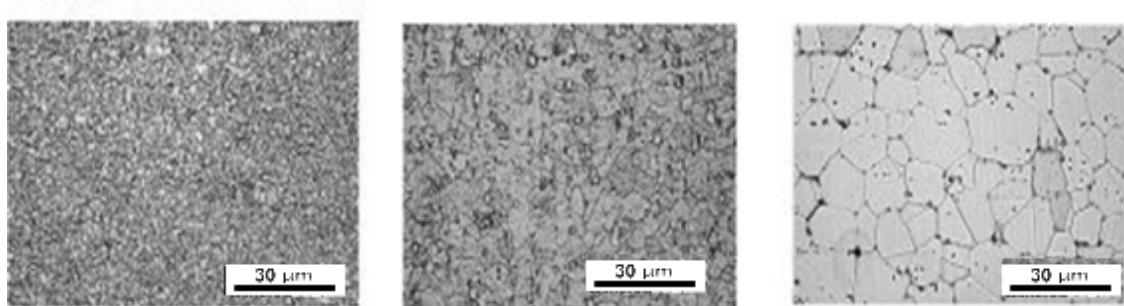


Рис. 2. – Микроструктура сплава ЭК151 после закалки и двойного старения:
а) $T_{зак} < T_{пруд}$; б) $T_{зак} \sim T_{пруд}$; в) $T_{зак} > T_{пруд}$

Третья часть занятия посвящена исследованию литейных никелевых сплавов, предназначенных в первую очередь для изготовления рабочих лопаток ГТД, которые относятся к наиболее нагруженным деталям, работающим в условиях одновременного воздействия высоких температур, циклических напряжений, коррозионно-окислительной среды. Изготовление лопаток ГТД методом точного литья по выплавляемым моделям имело решающее значение, поскольку позволило не только решить проблему повышения жаропрочности и коэффициента использования дорогостоящих ма-

териалов, но и разработать лопатки с высокоэффективной системой охлаждения, тем самым существенно повысить температуру газа перед турбиной, и как следствие тягу двигателя.

В этой части занятия перед студентами ставится технологическая задача по выбору способа получения отливки для формирования оптимальной структуры в целях достижения максимальной жаропрочности неохлаждаемых рабочих лопаток и максимальной термостойкости охлаждаемых лопаток газотурбинных двигателей.

Для решения этой задачи студенты проводят сравнительный анализ литьевых сплавов с равноосной, направленной и монокристаллической структурами (рис. 3), изучают особенности химического состава сплавов, схемы технологических процессов и условия кристаллизации при получении деталей с поликристаллической и ориентированными структурами, выясняют причину положительного влияния направленной кристаллизации (НК) на жаропрочность.

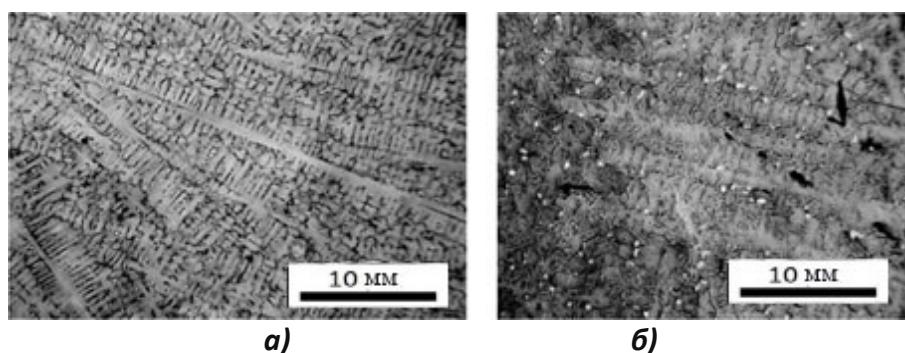


Рис. 3. – Микроструктура сплава ЖС6У после равноосной (а) и направленной (б) кристаллизации, $\times 50$

Развитием технологии НК является разработка технологии монокристаллического литья [13]. Студенты изучают условия получения монокристаллической структуры с применением затравки и конкурентного роста, исследуют макро- и микроструктуру литейного сплава ВЖМ 4, рассчитывают по формуле (2) уровень термических напряжений $\sigma_{\text{терм}}$ в зависимости от кристаллографической ориентации (КГО).

$$\sigma_{\text{терм}} = E \alpha \Delta t / 1 - \mu, \quad (2)$$

где E - модуль упругости сплава, μ - коэффициент Пуассона, α - коэффициент линейного расширения; Δt - температурный интервал.

Анализ анизотропии свойств и термических напряжений позволяет сделать вывод о преимуществах формирования в охлаждаемых лопатках ГТД монокристаллической структуры с КГО $<001>$, т.к. низкие значения модуля упругости в этом направлении способствуют возникновению меньших термических напряжений. Неохлаждаемые рабочие лопатки, для которых

требование термостойкости не является определяющим, должны иметь монокристаллическую структуру с КГО, отвечающей максимальным значениям модуля упругости $<111>$ и, следовательно, жаропрочности [14].

Четвертая часть занятия посвящена интерметаллидным сплавам ВКНА на основе соединения Ni_3Al , которые относятся к перспективным жаропрочным материалам нового поколения с рабочей температурой до 1250°C и применяются для лопаток газовых турбин, элементов камер сгорания, створок регулируемого сопла и других высокотемпературных тонкостенных литых деталей [11].

Студенты проводят сравнительный анализ интерметаллидных и литейных суперсплавов по фазовому составу с помощью диаграммы состояния Ni-Al (рис. 4), рабочим температурам, плотности, удельной длительной прочности, объясняют причины повышенной термостабильности сплавов ВКНА. Задание также предполагает проведение исследований макро- и микроструктуры (рис. 5) сплава ВКНА-1В в зависимости от КГО, изучение особенностей термической обработки [12, 13].

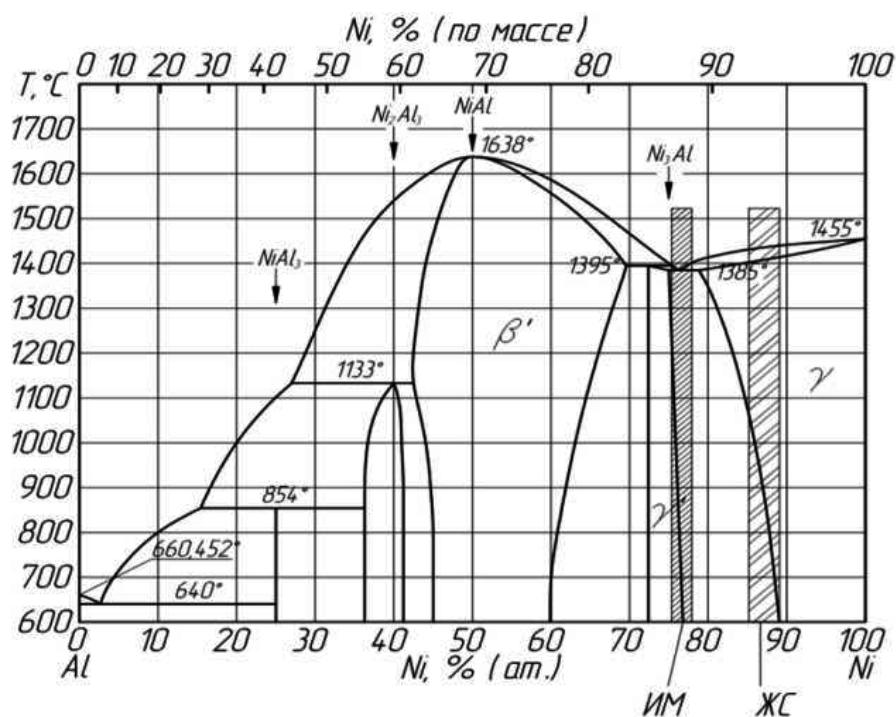


Рис. 4. – Диаграмма состояния Ni-Al

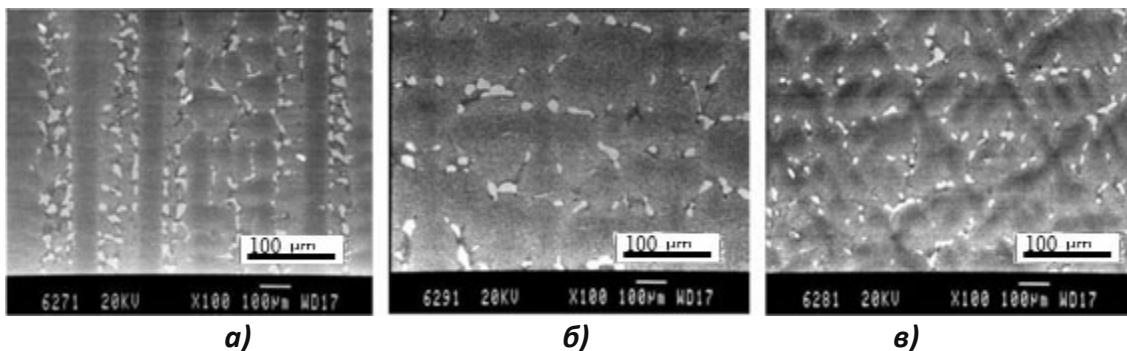


Рис. 5. – Микроструктура монокристаллического сплава ВКНА-1В в зависимости от КГО: а) $<001>$, б) $<011>$, в) $<111>$

Вывод. Лабораторно-практическое занятие формирует целостное представление о строении и свойствах современных жаропрочных никелевых сплавов, способах разработки и перспективах развития сплавов за счет изменения системы легирования и совершенствования технологических процессов; закрепляет знания о влиянии структурно-фазового состояния на свойства сплавов, способствует приобретению навыков в комплексном исследовании строения материалов с помощью диаграмм состояния, макро- и микроанализа, развивает ключевые профессиональные компетенции, связанные с системным подходом выбора материалов в зависимости от условий эксплуатации изделий.

ЛИТЕРАТУРА

- Гущин Ю.В. Интерактивные методы обучения в высшей школе // Психологический журнал Международного университета природы, общества и человека «Дубна». 2012. №2. С.1-18.
- Каблов Е.Н. Тенденции и ориентиры инновационного развития России: Сб. информационных материалов. 3-е изд., перераб. и доп. М.: ВИАМ. 2015. 719 с. С.355-383.
- Петрушин Н.В., Светлов И.Л. Физико-химические и структурные характеристики жаропрочных никелевых сплавов // Металлы. 2001. №2. С.63-73.
- Унчикова М.В., Базылева О.А., Буякина А.А. Методика проведения нового лабораторно-практического занятия "Исследование структуры и свойств никелевых жаропрочных сплавов" с применением интерактивной формы обучения // Инженерный вестник. 2017. № 4. С. 19-27.
- Пахомова С.А., Унчикова М.В. Перспективные методы обучения бакалавров дисциплине "Инженерия поверхности" // Современные инновационные технологии подготовки инженерных кадров для горной промышленности и транспорта. 2016. № 3. С. 475-482.
- Федорова Л.В., Федоров С.К., Иванова Ю.С., Сидоренко В.В. Отделочно-упрочняющая электромеханическая обработка стали 8620 // Упрочняющие технологии и покрытия. 2016. № 8 (140). С. 39-42.
- Пахомова С.А., Поваляев А.И., Шебешев К.И. Керамические композиционные материалы на основе нитрида кремния для коррозионностойких подшипников качения

// В сборнике: Ключевые тренды в композитах: наука и технологии. Материалы Международной научно-практической конференции. 2019. С. 556-561.

8. Ryzhov, N.M., Pakhomova, S.A. Effectiveness of thermal shot blasting for case-hardened steels // Metal Science and Heat Treatment. 1994. Т. 36. №. 5. Рр. 253.

9. Pakhomova S.A. and Povalyayev A.I. Silicon nitride-based ceramic composite materials for corrosion-resistant rolling bearings // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering, 2019, vol. 683, 012040. DOI:10.1088/1757-899X/683/1/012040

10. Каблов Е.Н., Голубовский Е.Р. Жаропрочность никелевых сплавов. М.: Машиностроение. 1998. 463 с.

11. Петрушин Н.В., Каблов Е.Н., Светлов И.Л. Компьютерное конструирование жаропрочного никелевого сплава IV поколения для монокристаллических лопаток газовых турбин / В сб. Литейные жаропрочные сплавы. Эффект С.Т. Кишкина. К 100-летию со дня рождения академика С.Т. Кишкина. М. 2006. С.98-115.

12. Федоров С.К., Федорова Л.В., Иванова Ю.С., Карпухин С.Д. Повышение износостойкости стальных деталей электромеханической обработкой // Упрочняющие технологии и покрытия. 2017. № 7 (151). С. 305-308.

13. Морозов А.В., Федорова Л.В., Горев Н.Н., Шамуков Н.И. Исследование влияния режимов сегментной электромеханической закалки на формирование участков регулярной микротвердости // Сборка в машиностроении, приборостроении. 2016. № 2. С. 24-27.

14. Materials science at DMOZ. Режим доступа: <https://www.dmoz.org/Science/Technology/Materials> (дата обращения 01.10.2019).

УДК 621.9.025.1 : 621.833.1

ЗАСТОСУВАННЯ ЗБІРНИХ ЧЕРВ'ЯЧНИХ ФРЕЗ ІЗ ТВЕРДОСПЛАВНИМИ ЗУБЦЯМИ ЗМЕНШЕНОГО КУТА ПРОФІЛЮ ДЛЯ ЗУБОФРЕЗЕРУВАННЯ ЦИЛІНДРИЧНИХ ЗУБЧАСТИХ КОЛІС ВЕЛИКИХ МОДУЛІВ

Я.М. Литвиняк¹, І.І. Юрчишин²

¹кандидат технічних наук, доцент кафедри технології машинобудування, Національний університет «Львівська політехніка», м. Львів, Україна, e-mail: ltvnky@i.ua

²кандидат технічних наук, доцент кафедри технології машинобудування, Національний університет «Львівська політехніка», м. Львів, Україна, e-mail: yur@center-sapr.com

Анотація. Запропоновано обґрунтоване удосконалення процесу нарізання еволовентних циліндричних зубчастих коліс великих модулів розробленими збірними черв'ячними фрезами з твердосплавними зубцями із зменшеним кутом профілю.

Ключові слова: зубчасте циліндричне колесо, збірна черв'ячна фреза, зубці з твердого сплаву.

APPLICATION OF ASSEMBLY GEAR HOBS WITH CARBIDE INSERTS BY THE DIMINISHED PRESSURE ANGLE FOR THE GEAR HOBBING OF THE CYLINDRICAL GEARS BY THE LARGE MODULES

Yaroslav Lytvyniak¹, Igor Yurchyshyn²

¹PhD, Associated Professor of Manufacturing Engineering Department, Lviv Polytechnic National University, Lviv, Ukraine, e-mail: ltvnky@i.ua

²PhD, Associated Professor of Manufacturing Engineering Department, Lviv Polytechnic National University, Lviv, Ukraine, e-mail: yur@center-sapr.com

Abstract. The reasonable improvement of the cutting process of involute cylindrical gears with the large modules is offered by the worked out assembly gear hobs with carbide indents with the diminished pressure angle.

Keywords: cylindrical gears, assembly gear hob, carbide inserts.

Introduction. The cylindrical gears are widely used in driving gears of machines and equipments that are used to work out, mining and transportation in the mineral resource industry. The adjustment functions of cylindrical gears are determined by hard working conditions; however the most significant functions are their loading capability and reliability. The parameters of gears have an influence on the functionality of the gears. Mainly, they are ensured at the manufacturing cutting operations of the gear tooth.

The gear-hobbing operations are the most widespread and significant. They are characterized by considerable duration and high prime cost. The execution of manufacturing operations becomes complicated by the cutting of the gears with the large modules by gear hobs. These operations are characterized by insufficient productivity for the modern manufacture, high costs and relatively low tool life of the instruments and considerable expenses, which are directed to the support of the instruments in serviceable condition. The increase of the performance criteria for the cylindrical gears wheels reaches because of the use of the gears with heightened hardness. The cutting of these gears with the large modules is difficult manufacturing task, which, at the state-of-the-art, is solved by the means of the use of the improved structures of the hobs.

The assembly hobs with carbide inserts belong to these structures. These hobs have the heightened steadiness and recommended high speed of the cutting. It ensures the high processing accuracy and permits to increase, essentially, the productivity at the milling operations of the gears.

For the cutting of the cylindrical involute gears with the large modules, the manufacturers propose the assembly gear hobs Sandvik CoroMill 176, Ingersoll Finish Hobs BPII 75X8Z, assembly gear hobs by the V. Bakul Institute for Superhard Materials. In the structures of the gear hobs, the teeth are manufactured

from the carbide inserts by the trapezoidal shape with the standard pressure angle 20° . These carbide inserts have additional geometrical elements, which transform them into the complex items that are delivered by only the manufacturers of the gear hobs. These inserts also have high costs, and their large number for the one gear hob and high cost of the case of the gear hob essentially influence at the operating costs and the prime cost of the manufacture of the gears [1, 2].

There are the well-known standardized lathe inserts of hard alloy of the trapezoidal shape of the different standard sizes, in which the angle between the lateral cutting edges is equal to 34° (type 32) or 15° (type 51). The inserts are produced of such hard alloy that these inserts have high steadiness during the cutting with the beats and the vibrations. In general, these inserts are assigned for the cutting of the cylindrical grooves or the trapezoidal threads. The trapezoidal shape of the inserts for the type 32 (type 51) is similar to the shape of the inserts that are used in mentioned assembly gear hobs.

The aim of the work. The development of the scientific well-found recommendations of the technological ensuring of the cutting process for the cylindrical involute gears with large modules with the standard pressure angle by the means of the innovative assembly gear hobs with the carbide inserts that have reduced pressure angle.

The material and the results of the studies. There were developed the structural fulfillment of the assembly gear hob with the trapezoidal inserts of the hard alloy for the cutting for the cylindrical involute gears with the module $m = 10$ mm. There were used the carbide inserts with the type 32250 (GOST 25412) with the angle between the lateral cutting edges $2\alpha_{02} = 34^\circ$. The pressure angle for the milling tooth was $\alpha_{02} = 17^\circ$, which is less than the standard pressure angle $\alpha_{01} = 20^\circ$. The rack tooth profile with the reduced pressure angle is created from the profiles of the carbide inserts of the trapezoidal shape. The angle between the lateral cutting edges is $\alpha_{02} = 17^\circ$.

By the means of the rack tooth profile with the reduced pressure angle, the formation of the involute tooth profile on the gear is realized in modified machine-tool gearing, in which the modified initial circle must have the reduced diameter (d_{w12}); the initial rack tool profile has the reduced tooth pitch P_{02} ; the centre distance between the axis of the hob and the axis of the cut gear reduces; the new cutter tool pitch point is created.

The developed gear hob belongs to the type of the gear hobs of the constant setting. The counterpart rack for the gear hob are combined from the right-hand and the left-hand parts, in which the carbide inserts execute the profiling of the gear teeth only correspondingly right-hand and the left-hand lateral cut-

ting edges. For the full forming of the interdental gear wheel surface, 2 – 4 carbide inserts with the pressure angle α_{02} are arranged in the gear hob's body. At the tops of these inserts were formed the chamfers with the angle 35^0 .

For the realization of the gear milling operation, there were proposed for the cutter teeth of the gears to execute the control of the tooth thickness on the constant chord S_{C12} , which is located at the teeth height h_{C12} to this chord:

$$S_{C12} = S_{w12} \cdot \cos^2 \alpha_{02}; \quad h_{C12} = \frac{1}{2} \cdot (d_{a1} - d_{w12} - S_{C12} \cdot \tan \alpha_{02}),$$

S_{w12} – the tooth thickness at the modified generating pitch circle d_{w12} ;

$$(S_{w12} = d_{w12} \cdot \left(\frac{S_{w11}}{d_{w11}} + (\tan \alpha_{01} - \alpha_{01}) - (\tan \alpha_{02} - \alpha_{02}) \right); \quad d_{w12} = d_{w11} \cdot \frac{\cos \alpha_{01}}{\cos \alpha_{02}});$$

d_{a1} – the diameter of the addendum circle of the gear; α_{02} – the reduced pressure angle for the rack-type tool ($\alpha_{02} = 17^0$); S_{w11} – the tooth thickness of the gear at the generating pitch circle d_{w11} for the starting rack-type tool with standard pressure angle ($\alpha_{01} = 20^0$).

Conclusion. There were developed the arrangements for the improvement the cutting process of the cylindrical involute gears with the large modules by the assembly gear hobs, which are equipped with standardized carbide inserts with reduced pressure angle.

REFERENCES

- Локтев Д.А. Червячные фрезы. Выбор рациональных конструкционных и эксплуатационных параметров. // Оборудование и инструмент для профессионалов. Серия – металлообработка. – 2008. №5. – С. 64-68.
- Radzevich S. P. Gear cutting tools: fundamentals of design and computation / Stephen P. Radzevich. - CRC Press Taylor & Francis Group, 2010. – 754 p.

УДК 621.879.3

РОЗРАХУНОК ОСНОВНИХ ПАРАМЕТРІВ ТА РЕЖИМІВ РОБОТИ ОБЛАДНАННЯ З ГВИНТОВИМ РОБОЧИМ ОРГАНОМ

Д.О. Міщук¹, М.М. Балака², А.В. Бойченко³

¹кандидат технічних наук, доцент кафедри будівельних машин, Київський національний університет будівництва і архітектури, м. Київ, Україна, e-mail: mischuk.do@knuba.edu.ua

²асистент кафедри будівельних машин, Київський національний університет будівництва і архітектури, м. Київ, Україна, e-mail: balaka.mm@knuba.edu.ua

³студент групи БМО-42с, Київський національний університет будівництва і архітектури, м. Київ, Україна, e-mail: boychenko.av@ukr.net

Анотація. В роботі наведено розрахунок основних параметрів спроектованого на- вісного обладнання для розробки міцних і мерзлих ґрунтів. Визначено оптимальні спів- відношення геометричних параметрів гвинтового робочого органу в залежності від його технологічного призначення та режимів роботи.

Ключові слова: гвинтовий робочий орган, параметр, розробка ґрунту.

CALCULATION OF THE MAIN PARAMETERS AND OPERATING MODES FOR EQUIPMENT WITH A SCREW WORKING BODY

Dmytro Mischuk¹, Maxim Balaka², Andriy Boychenko³

¹Ph.D., assistant professor of Building Machinery, Kyiv National University of Construction and Architecture, Kyiv, Ukraine, e-mail: mischuk.do@knuba.edu.ua

²Assistant of Building Machinery, Kyiv National University of Construction and Architecture, Kyiv, Ukraine, e-mail: balaka.mm@knuba.edu.ua

³Student of group BMO-42s, Kyiv National University of Construction and Architecture, Kyiv, Ukraine, e-mail: boychenko.av@ukr.net

Abstract. The calculation of the basic parameters for the designed equipment for the development of solid and frozen soils are present in paper. The optimal ratios of the geometric parameters for the screw working body are determined, depending on its technological purpose and modes of operation.

Keywords: screw working body, parameter, soil development.

Вступ. На сьогодні не створені або не отримали практичного застосування засоби механізації для розробки міцних і мерзлих ґрунтів, які засновано на використанні нових методів інтенсифікованого впливу на ґрутову поверхню із застосуванням фізичних ефектів [1]. Тому пошук нових конструктивних рішень, методів інтенсифікації розробки ґрунтів, створення ресурсозберігаючих та економічно вигідних технологій і засобів механізації є одним з важливих напрямів по вдосконаленню будівельного виробництва.

Аналіз конструкцій робочих органів, які мають можливість оперативного і багаторазового занурення в масив ґрунту, і потім сприяти відриву від нього великого елемента, привів до усвідомлення доцільності використання одновиткових гвинтів. Гвинтові анкери, якорі та палі широко застосовуються у будівництві газонафтопроводів, опор ліній електропередач та інших технологічних споруд. Закономірності руйнування масиву ґрунту відривом від нього великого елемента стали основою для створення нових способів розробки міцних і мерзлих ґрунтів [2].

Грейферне обладнання, яке використовує принцип замкнутого силового потоку, знайшло найбільш ефективне застосування для умов обмеженого простору будівництва. Стримуючим чинником широкого застосування

традиційного грейферного обладнання на міцних і мерзлих ґрунтах є потреба використовувати потужні та спеціалізовані базові машини [3]. Однак підвищення ефективності розробки ґрунту грейфером можна виконати за рахунок оснащення його приводним гвинтовим робочим органом [4].

Мета роботи. Розглянути принцип роботи грейферного обладнання з приводним гвинтовим робочим органом для розробки надміцних ґрунтів. Підібрати і розрахувати основні параметри гвинтового робочого органу.

Матеріал та результати дослідження. Технологія розробки ґрунтів запропонованим обладнанням [4] полягає в наступному (рис. 1). Грейферний ківш розкривають та встановлюють на ґрунт, і виконують занурення гвинтового робочого органу 3 в ґрунт. Гвинтова лопать 4 на конічній ділянці робочого органу 3 забезпечує його початкову тягову здатність, а трикутний профіль зі збільшеними кутами нахилу твірних верхньої та нижньої поверхонь гвинтової лопаті 4 до осі обертання забезпечують необхідний напрям сил, які стискають ґрунт в робочій зоні при зануренні. Висмикування гвинтового робочого органу 3 супроводжується відділенням грудки ґрунту від його масиву. Потім виконують закриття щелеп 1 грейфера, які підхоплюють об'єм відділеної грудки ґрунту, за допомогою гідроциліндрів їх повороту 2. Грейфер піднімають, виконують його вивантаження і цикл повторюється.

Грудка відділеного ґрунту складає об'єм наповнення грейфера за один цикл. Об'єм грудки і силу опору відриву можна регулювати зміною глибини занурення гвинтового робочого органу 3.

Застосування такої конструкції дозволяє збільшити напруження стиснення ґрунту на поверхні зрізу за рахунок ефективного напряму дії стискаючих сил. Це підвищить тягову здатність гвинтового робочого органу при зниженні загальної енергоємності робочого процесу і дозволить ефективно використовувати грейферне обладнання на міцних і мерзлих ґрунтах з різними фізико-механічними властивостями [5], зокрема на малопластичних ґрунтах з високою механічною міцністю і абразивністю.

Для визначення оптимальних параметрів спроектованого обладнання створено модель процесу розробки ґрунту. Прийнято наступні параметри гвинтового робочого органу: діаметр лопаті D_l , діаметр стрижня d_{ct} і довжину стрижня, що визначається глибиною занурення лопаті H .

Необхідний діаметр гвинтової лопаті залежить від об'єму грейфера за один цикл. Розглянемо процес відриву від масиву ґрунту (рис. 2). Для спрощення розрахунків реальні криволінійні поверхні руйнування замінююмо поверхнями усіченого конуса. Параметри об'єму ґрунту складають

$$D_B = D_{\text{л}} + 2H \cdot \operatorname{tg}\psi;$$

$$V_{\text{ВДР}} = \frac{\pi D_{\text{л}}^2 \cdot H}{4} \cdot \left[1 + \frac{2H \cdot \operatorname{tg}\psi}{D_{\text{л}}} + \frac{4}{3} \cdot \left(\frac{H}{D_{\text{л}}} \cdot \operatorname{tg}\psi \right)^2 \right];$$

$$S_{\text{БОК}} = \frac{\pi H}{\cos\psi} \cdot (D_{\text{л}} + H \cdot \operatorname{tg}\psi).$$

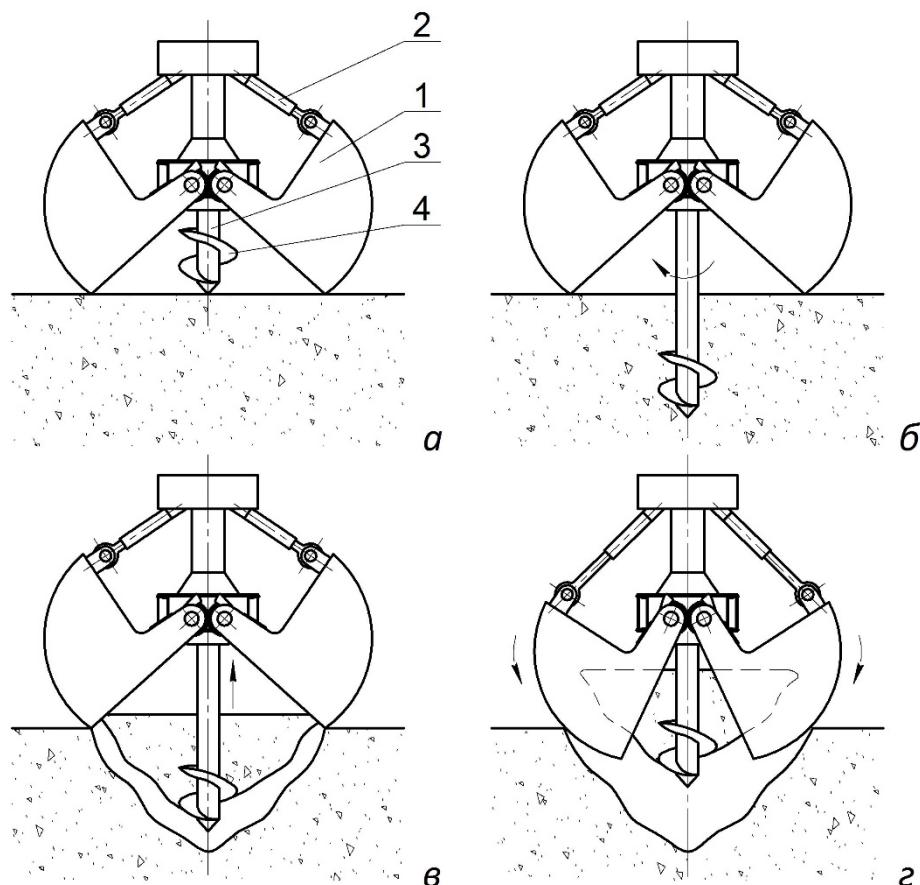


Рисунок 1 – Схема розробки ґрунту грейфером з гвинтовим робочим органом: а – установка грейфера на ґрунт; б – загвинчування робочого органу; в – висмикування гвинта і відриг грудки ґрунту; г – підхоплення грейфером розробленого ґрунту; 1 – щелепа грейфера; 2 – гідроциліндр; 3 – гвинтовий робочий орган; 4 – гвинтова лопать

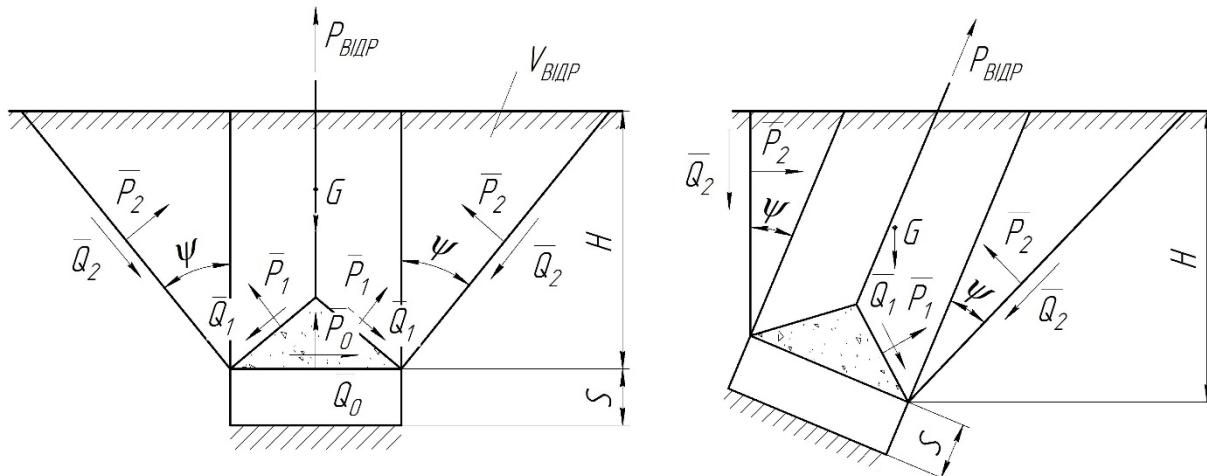


Рисунок 2 – Схема відриву грудки ґрунту гвинтовим робочим органом

З представлених залежностей видно, що параметри D_B та V_{BIDP} , які визначають розміри робочого обладнання, залежать від діаметра лопаті й глибини занурення. Визначальним і головним параметром робочого обладнання грейфера є об'єм ковша q . При підборі параметрів робочого обладнання приймається, що $q = V_{BIDP}$.

Схема руйнування масиву ґрунту, представлена на рис. 2, характерна для роботи гвинтів дрібного занурення, у яких $H \leq (4...5)D_L$.

Для гвинтів дрібного занурення розрахункове зусилля відриву з урахуванням позначень розрахункової схеми можна представити як

$$P_{KP} = \frac{\gamma \cdot g \cdot \pi \cdot D_L^2 \cdot H}{4} \cdot \left[1 + \frac{2H \cdot \operatorname{tg} \psi}{D_L} + \frac{4}{3} \cdot \left(\frac{H}{D_L} \cdot \operatorname{tg} \psi \right)^2 \right] + c \cdot \pi \cdot h \cdot (D_L + H \cdot \operatorname{tg} \psi),$$

де γ – щільність ґрунту; ψ – кут нахилу до вертикалі руйнування поверхні; c – зчеплення ґрунту.

Чисельний аналіз залежності зусилля відриву від діаметра гвинтової лопаті для різних ґрунтів представлено на рис. 3. Вплив фізико-механічних властивостей ґрунту на опір масиву ґрунту руйнуванню значний [5]. При заданому зусиллі відриву $P_{BIDP} = P_{ZAD} = 70 \text{ кН}$ можна виконати відрив певного об'єму в міцній глині гвинтовим робочим органом з діаметром лопаті $D_L \approx 0,15 \text{ м}$, а в насипному ґрунті – з $D_L \approx 0,35 \text{ м}$. При цьому необхідно враховувати, що діаметр гвинтової лопаті визначає глибину її занурення $H = (4...5)D_L$, а глина занурення – об'єм ґрунту, що відривається V_{BIDP} .

Для вибору необхідного розміру гвинтового робочого органу виконано чисельний аналіз залежності $V_{BIDP} = f(D_L)$ за умови $H = (4...5)D_L$ та $P_{BIDP} = 70 \text{ кН}$. Дані аналізу представлено на рис. 4.

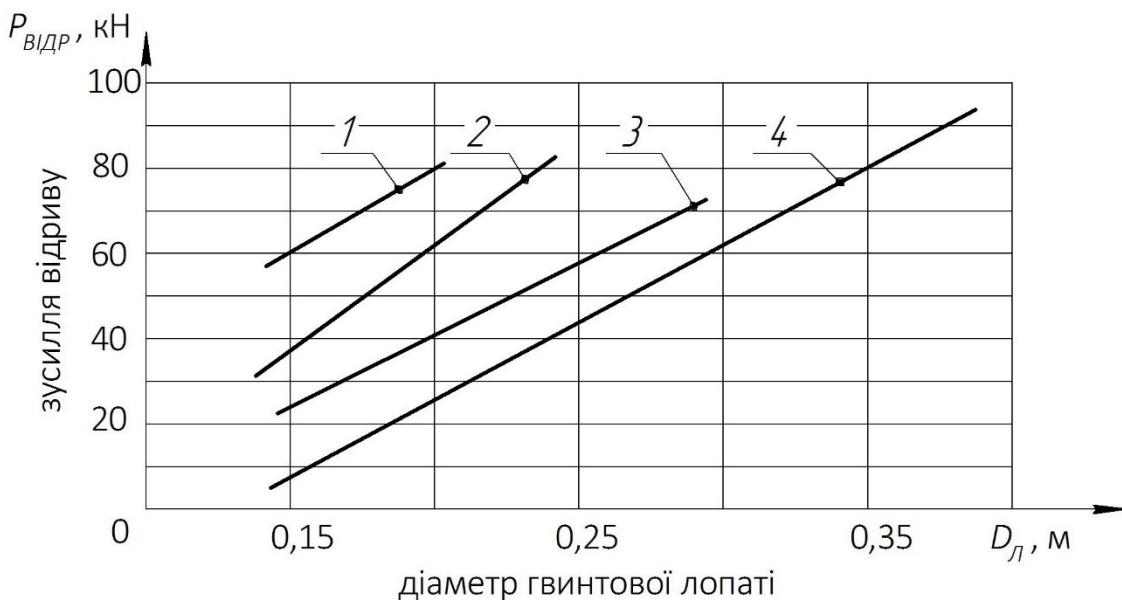


Рисунок 3 – Орієнтовні значення зусиль відриву в залежності D_L від різних ґрунтових умов: 1 – міцний глинистий сланець; 2 – глина середньої міцності; 3 – пластична м'яка глина; 4 – насипний ґрунт

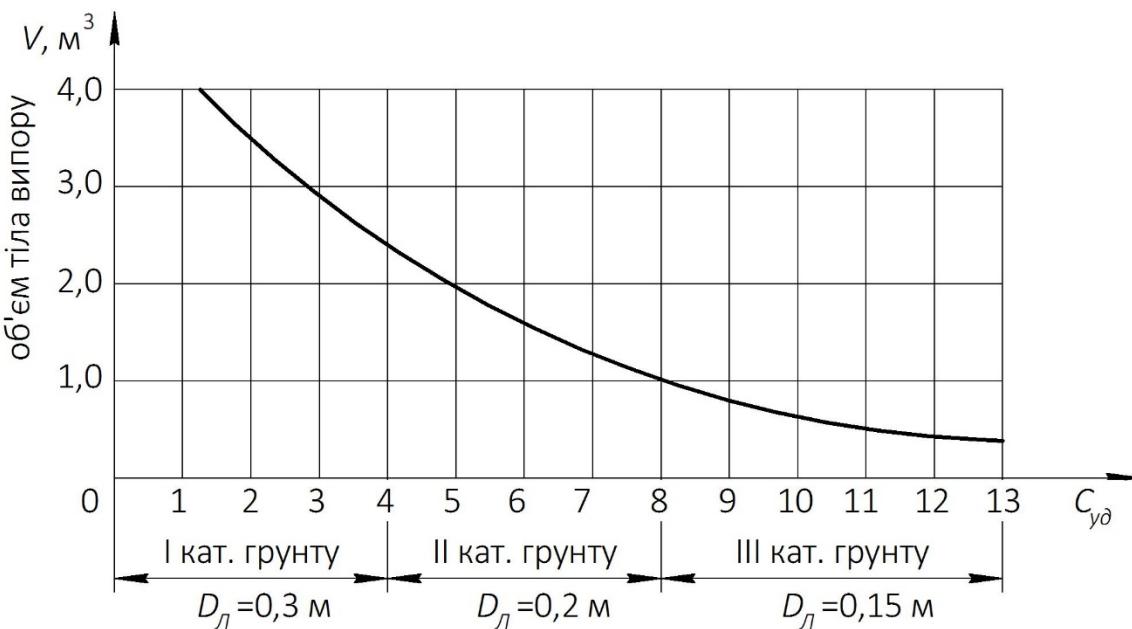


Рисунок 4 – Залежність об'єму тіла випору від категорії ґрунту і діаметра гвинтового робочого органу

Залежності на рис. 3 і 4 показують, що для виконання умови рівності об'єму грейферним ківшом і об'єму тіла випору $q = V_{\text{відр}} = 1 \text{ m}^3$ необхідно прийняти діаметр гвинтовий лопаті $D_L \approx 0,2 \text{ м}$. На слабких ґрунтах I категорії при зусиллі відриву $P_{\text{відр}} = 70 \text{ kN}$ з $D_L \approx 0,3 \text{ м}$ можна відокремити великий об'єм ґрунту, а на міцних ґрунтах з цим зусиллям взагалі неможливо зробити відрив певного об'єму, зануривши в масив гвинтовий робочий орган з

$D_{\ell} \approx 0,2$ м. В якості виходу з такої ситуації необхідно виконувати занурення гвинтової лопаті $D_{\ell} \approx 0,2$ м на глибину $(3...4)D_{\ell}$. Тоді розробка масиву ґрунту таким способом буде цілком можлива.

Для реалізації запропонованого обладнання потрібно забезпечити занурення гвинтового робочого органу на задану глибину. Згідно досліджень **Error! Reference source not found.**[6] необхідний крутний момент визначається за формулою

$$M_{kp} = \frac{\pi}{8} \cdot \gamma \cdot g \cdot H \cdot (D_{\ell} - d_{ct}) \cdot D_{\ell}^2 \cdot \operatorname{tg}\left(45^\circ + \frac{\varphi}{2}\right) \cdot \operatorname{tg}(\alpha' + \varphi),$$

де γ – щільність ґрунту; D_{ℓ} – діаметр лопаті; d_{ct} – діаметр стрижня гвинта; φ – кут внутрішнього тертя; α' – кут підйому гвинтової лінії лопаті; $\alpha' = \operatorname{arctg}(\alpha_{\ell} / \pi D_{\ell})$.

Для початкового занурення гвинтового робочого органу в ґрунт необхідна осьове зусилля Q , яке визначається за формулою

$$Q^{min} = 1,6 \cdot \pi \cdot c \cdot d_{ct}^2 \cdot \operatorname{tg}\left(\frac{\pi}{4} + \frac{\varphi}{2}\right).$$

Проведено чисельний аналіз залежності крутного моменту від діаметру і кроку гвинтової лопаті з урахуванням дії осьової сили (рис. 5).

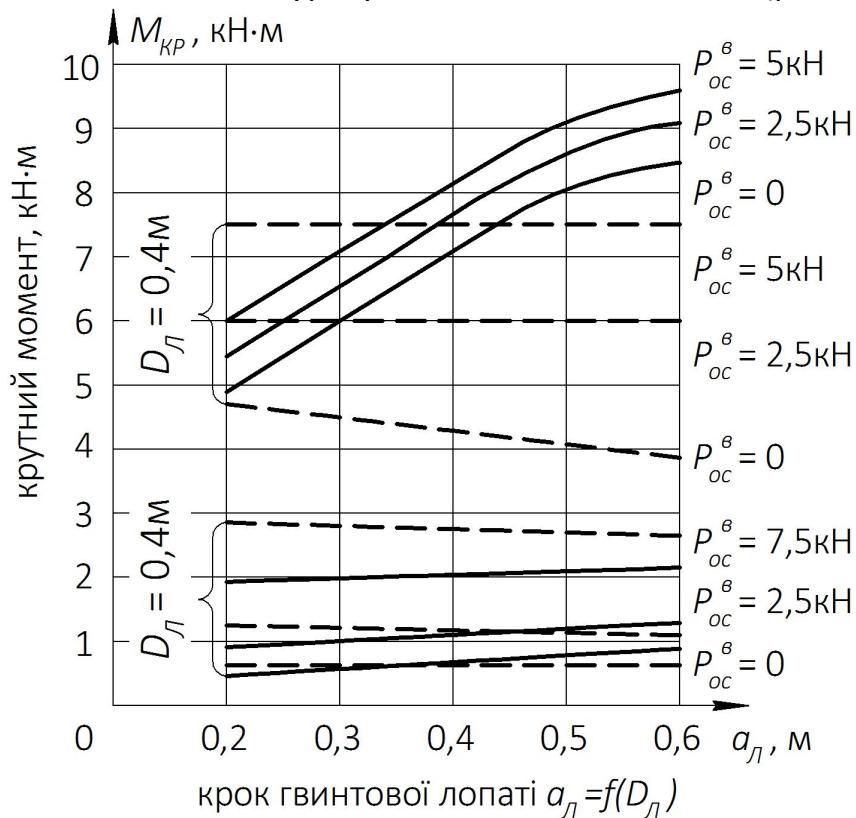


Рисунок 5 – Залежності крутного моменту від кроку гвинтової лопаті:
— при загвинчуванні; - - - при вигвинчуванні

Представлені залежності дозволяють вибрати необхідні параметри механізму загвинчування в ґрунти II категорії.

В якості приводу гвинтового робочого органу розроблений і випробуваний спеціальний блок «поршень – гайка – гвинт». За основу прийнято типовий гідроциліндр діаметром $D_L = 0,12 \text{ м}$ і порожнім штоком $d = 0,05 \text{ м}$.

Крутний момент, який в парі «гвинт – гайка» (поршень, шток, гвинтовий робочий орган) визначається за формулою

$$M_{KP} = P_a \cdot \frac{d_{CP}}{2} \cdot \operatorname{tg}(\lambda - \rho),$$

де P_a – осьова сила в гвинтовій парі; λ – кут нахилу різьблення; ρ – кут зовнішнього тертя в гвинтовий парі.

З урахуванням дії осьової сили опору впровадження стрижня гвинтового робочого органу в ґрунт крутний момент, який був розвинений механізмом занурення, визначається за формулою

$$M_{KP} = 0,5 \cdot d_{CP} \cdot \operatorname{tg}(\lambda - \rho) \cdot \left[0,25p_1 \cdot (D^2 + d^2 - d_1^2 + S_1 h_1) \right] - \\ - \pi D \cdot h \cdot \tau \cdot \sin \alpha - p_2 \cdot \left[0,25\pi \cdot (D^2 - d_2^2) + S_1 h_1 \right] - Q,$$

де d_{CP} – середній діаметр гвинтового різьблення; p_1 – тиск, що розвивається гідросистемою; D – діаметр поршня; d – діаметр штока; d_1 – зовнішній діаметр різьби; S_1 і h_1 – ширина і глибина стрічкового різьблення; p_2 – протитиск в порожнині гідроциліндра, рівний $0,20...0,30 \text{ МПа}$.

Для чисельного аналізу прийнято такі параметри експериментального приводу: $D = 0,12 \text{ м}$; $d_2 = 0,05 \text{ м}$; $\lambda = 45^\circ$; $d - d_1 = 5 \text{ мм}$; p_1 до 16 МПа .

Наведені дані (див. рис. 3 і 4) показують можливість загвинчування в ґрунти всіх категорій гвинтового робочого органу з діаметром лопаті $D_L = 0,2 \text{ м}$ за допомогою спеціально розробленого приводу.

Водночас розкладання сил на складові показує, що на конічній поверхні, описаної навколо зовнішньої кромки гвинтової лопаті виникають напруження зсуву і нормальні напруження, тобто напруження відризу, які є причиною руйнування ґрунту гвинтовою лопаттю. Тому важливим фактором, який забезпечує ефективність роботи гвинта, є швидкість занурення в ґрунт. Однак висока частота обертання гвинтового робочого органу при його зануренні в ґрунт призводить до розбурювання останнього.

Висновки. Незважаючи на достатньо широку популярність конструкцій, що містять гвинтові лопаті (гинтові палі, анкери, наконечники в обладнанні для утворення свердловин тощо) і чисельні дослідження в області взаємодії робочих органів з ґрунтом, до теперішнього часу вивчення процесів взаємо-

дії гвинтових робочих органів з ґрунтом є недостатнім. Існуючі методи розрахунку передбачають використання гвинтових робочих органів на талих ґрунтах і не враховують особливості робіт на мерзлих ґрунтах.

Розробка відривом великого елемента від масиву ґрунту відбувається при максимальній інтенсифікації напружень розтягу ґрунту. Реалізація такого процесу виконується гвинтовим робочим органом. Процес здійснюється без динамічного впливу на ґрунт, що є визначальним фактором для виконання робіт в обмежених умовах будівництва.

Застосування гвинтового робочого органу в конструкції грейферного обладнання дозволяє не лише руйнувати масив ґрунту, а й захоплювати його. Встановлені залежності дозволяють призначати оптимальні параметри як гвинтового робочого органу, так і грейферного обладнання.

ЛІТЕРАТУРА

1. Балака М. М., Антонков М. О. Аналіз методів, засобів і технологій інтенсифікації виконання земляних робіт на мерзлих ґрунтах / Современные инновационные технологии подготовки инженерных кадров для горной промышленности и транспорта 2014 : материалы Междунар. науч.-техн. конф., 27–28 март. 2014 г. – Днепропетровск : Нац. горный ун-т, 2014. – С. 147–156.
2. Баловнев В. И., Хмара Л. А. Интенсификация разработки грунтов в дорожном строительстве. – М. : Транспорт, 1993. – 383 с.
3. Таубер Б. А. Грейферные механизмы. – М. : Машиностроение, 1985. – 272 с.
4. Пат. 75374 У Україна, МПК Е 02 F 3/413. Грейфер з привідним якорем / Заявники і патентовласники Балака М. М., Паламарчук І. А. – № у 2012 06723; заявл. 01.06.12; опубл. 26.11.12, Бюл. № 22.
5. Слободчиков В. В., Балака М. Н. Специфика физико-механических свойств мерзлых грунтов / Геология и нефтегазоносность Западно-Сибирского мегабассейна (опыт, инновации) : материалы IX Междунар. науч.-техн. конф., 10–11 дек. 2014 г. – Тюмень : Тюмен. гос. нефтегазовый ун-т, 2014. – Т. 2. – С. 150–154.
6. Пенчук В. А. Выбор рациональных режимов эксплуатации землеройных машин / Гірничі, будівельні, дорожні та меліоративні машини. – 2001. – № 58. – С. 40–42.

УДК 621.3.045.57

КОНТАКТНАЯ ЖЕСТКОСТЬ РОТОРНОЙ/СТАТОРНОЙ ПОВЕРХНОСТЕЙ И РАДИАЛЬНАЯ ЖЕСТКОСТЬ ПОДШИПНИКА КАЧЕНИЯ

А.Н. Никифоров

Кандидат технических наук, старший научный сотрудник,

Институт машиноведения им. А.А. Благонравова РАН, г. Москва, Россия, e-mail: n.andre@mail.ru

Аннотация. В работе выполнена аналитическая оценка жесткостей, которые соответствуют контактам тел в роторных системах. Моделирование основано на теории Герца. В качестве примеров рассчитаны контактные жесткости для экспериментального ротора и подшипника 608 2RS.

Ключевые слова: математическая модель, контактное взаимодействие двух и трех тел с цилиндрическими и сферическими поверхностями.

CONTACT STIFFNESS OF ROTOR/STATOR SURFACES AND RADIAL STIFFNESS OF BEARING

Andrey Nikiforov

PhD, Senior Staff Scientist, Mechanical Engineering Research Institute of Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia, e-mail: n.andre@mail.ru

Abstract. In this paper, an analytical evaluation of the stiffness that corresponds to the contacts of bodies in rotary systems is performed. The simulation is based on Hertz theory. As examples, contact stiffness is calculated for the experimental rotor and bearing 608 2RS.

Keywords: mathematical model, contact interaction of two and three bodies with cylindrical and spherical surfaces.

Введение. Общепринятая механика контактного взаимодействия тел состоит в поведении по Герцу – сила N нормального давления и сближение w двух контактирующих тел, сжимаемых этой силой, связаны соотношением:

$$N = Kw^{3/2}, \quad (1)$$

где K зависит от материалов и кривизны их поверхностей.

Оценке постоянной K посвящено множество научных трудов, например [1, 2]. В простом случае контакта между твердым шаром радиуса R_0 и упругим полупространством с модулем Юнга E_0 :

$$K = \frac{4}{3} E_0 \sqrt{R_0}. \quad (2)$$

Моделирование. При контакте двух упругих тел с искривленными поверхностями данная математическая модель, конечно, усложняется. И здесь наиболее легкий путь учета особенностей системы предусматривает подстановку в последнее выражение эффективных радиуса и модуля упругости:

$$\frac{1}{R_0} = \pm \frac{1}{R_{11}} \pm \frac{1}{R_{12}} \pm \frac{1}{R_{21}} \pm \frac{1}{R_{22}}, \quad \frac{1}{E_0} = \frac{1}{E_1} + \frac{1}{E_2}, \quad (3)$$

где «+» - относится к выпуклому искривлению, «-» - к вогнутому, первый индекс в радиусах R_{ij} кривизны обозначает номер тела, второй – рассматриваемую плоскость (рис.1), E_1 - модуль упругости для одного тела, E_2 - для другого, причем если тела из одного материала $E_1=E_2=E$, то $E_0=E/2$.

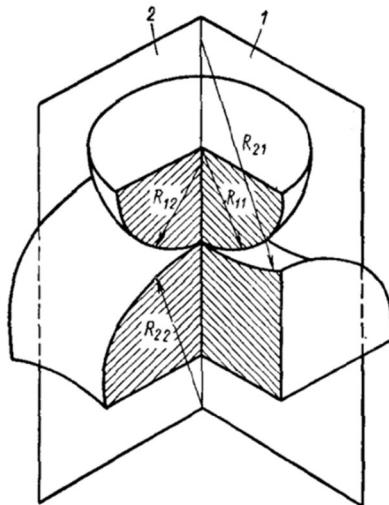


Рисунок 1 – К определению радиусов R_{ij} кривизны в случае контакта двух тел произвольной формы (ниже предполагается, что плоскость 1 перпендикулярна оси вращения ротора и подшипника качения, а плоскость 2 совпадает с этой осью)

Для контактной пары «ротор – статор», т.е. в случае двух тел, одно из которых имеет вблизи площадки контакта выпуклую образующую цилиндр поверхность с радиусами кривизны $R_{11}=r$ и $R_{12}=\infty$, а другое – вогнутую цилиндрическую поверхность с радиусами кривизны $R_{21}=R$ и $R_{22}=\infty$:

$$K = \frac{4}{3} \left(\frac{1}{E_1} + \frac{1}{E_2} \right)^{-1} \sqrt{\left(\frac{1}{r} - \frac{1}{R} \right)^{-1}}.$$

Например, для опробованной в экспериментах пары «стальной вал – бронзовая втулка подшипника скольжения» с параметрами $r=4\text{мм}$, $E_1=2.07 \cdot 10^{11}\text{Па}$, $R=5\text{мм}$, $E_2=1.1 \cdot 10^{11}\text{Па}$:

$$K=1.35 \cdot 10^{10}\text{Н/м}^{3/2}.$$

Подшипник качения – это стандартное изделие, и для расчета его жесткости предложен целый ряд методик. В основном используется статическая характеристика (контактная теория Герца), которая подтверждена в трудах [3-6]. Во многих исследованиях учитывается возможность неполного контакта тел качения с кольцами [7, 8].

Для подшипника качения, т.е. в случае трех контактирующих тел типа «внутреннее кольцо – шарик/ролик – наружное кольцо» по Новикову [9]:

$$K = \frac{K_B K_H}{\left(K_B^{\frac{2}{3}} + K_H^{\frac{2}{3}} \right)^{\frac{3}{2}}}, \quad (4)$$

где константа K_B относится к контакту шарика/ролика с внутренним кольцом, а K_H – к контакту – с наружным кольцом.

Используя те же определения (рис.1), так что плоскость 1 поперечна оси вращения, и математическую модель (2, 3), константы K_B и K_H шарикоподшипника, могут быть выражены как:

$$K_B = \frac{4}{3} \left(\frac{2}{E} \right)^{-1} \sqrt{\left(\frac{2}{D_w} + \frac{2}{D_w} + \frac{2}{D_0 - D_w} - \frac{2}{D_d} \right)^{-1}}, \quad (5)$$

$$K_H = \frac{4}{3} \left(\frac{2}{E} \right)^{-1} \sqrt{\left(\frac{2}{D_w} + \frac{2}{D_w} - \frac{2}{D_0 + D_w} - \frac{2}{D_d} \right)^{-1}},$$

где D_w - диаметр шарика, D_0 - средний диаметр подшипника (диаметр окружности, проходящей через центры шариков), D_d - диаметр дорожки качения внутреннего и наружного колец.

Служащие опорами экспериментальному ротору подшипники 180018 (табл.1) также как и другие радиальные шариковые подшипники имеют глубокие дорожки качения, радиус кривизны которых близок к размеру шариков ($D_d=1.03D_w$), что позволяет им воспринимать не только радиальные, но и осевые нагрузки.

Таблица 1 – Данные подшипника 180018 по ГОСТ 8882 (608 2RS по ISO 15:2011)

Тип	Параметр	Обозначение	Значение	Единицы
Радиальный однорядный с двусторонним уплотнением из полимера	Внутренний диаметр подшипника	d	8	мм
	Наружный диаметр подшипника	D	22	мм
	Ширина подшипника	B	7	мм
	Число шариков	Z	7	-
	Диаметр шарика	D_w	3.969	мм
	Статическая грузоподъемность	C_0	1340	Н
	Динамическая грузоподъемность	C	3250	Н

По данным табл.1: $D_0=(d+D)/2=15$ мм и формулам (5 и 4):

$$K=2.09 \cdot 10^9 \text{ Н/м}^{3/2}.$$

Согласно (1):

$$w = N^{\frac{2}{3}} / K^{\frac{2}{3}}. \quad (6)$$

Контактная жесткость k_k поверхностей тел равна первой производной от нормальной нагрузки $N=N(w)$ по сближению:

$$k_k = \frac{dN}{dw}. \quad (7)$$

Дифференцируя левую и правую части (6) по w и выполняя замену (7), можно найти:

$$k_k = \frac{3}{2} K^{\frac{2}{3}} N^{\frac{1}{3}}. \quad (8)$$

Так как с увеличением нормальной нагрузки N контактная жесткость (8) возрастает, то чтобы знать диапазон изменения последней, необходимо рассмотреть предельные контактные N_{\min} и N_{\max} в системе. В приложении к несущему диску экспериментальному валу, один конец которого защемлен парой шарикоподшипников с реакцией R_A , а противоположный – свободно опёрт на подшипник скольжения с малым зазором и реакцией R_B , рационально воспользоваться схемой (рис.2) и соотношениями статического нагружения упругой балки.

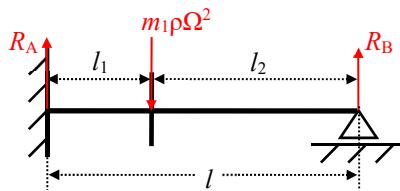


Рисунок 2 – Инерционная сила и опорные реакции экспериментального вала с диском ($l_1=\frac{1}{4}l$, $l_2=l-l_1$, $l=645\text{мм}$, $r=4\text{мм}$)

На рис.2 в пролете вала отмечена сила инерции диска $m_1 \tilde{\rho} \Omega^2$. Её присутствие вызывает следующие опорные реакции:

$$R_A = m_1 \tilde{\rho} \Omega^2 \frac{l_2}{2l} \left(3 - \frac{l_2^2}{l^2} \right), \quad R_B = m_1 \tilde{\rho} \Omega^2 \frac{l_1^2}{2l^2} \left(3 - \frac{l_1}{l} \right).$$

Ясно, что к минимумам R_A и R_B будут приводить наименьшие прогиб ρ и частота Ω безотрывного движения вала по подшипнику с зазором, т.е. самое медленное устойчивое синхронное скольжение. Максимумами R_A и R_B , конечно, будет сопровождаться аварийное обкатывание в момент потери ротором упруго-динамической устойчивости.

В соответствии с зарегистрированными опытными данными:

$$R_{A\min}=5.15\text{Н} \text{ и } R_{B\min} \approx 0.48\text{Н} \text{ при } \tilde{\rho}_{\min} \approx 1\text{мм}, \Omega_{\min} \approx 2\pi \cdot 23\text{Гц},$$

$$R_{A\max} \approx 1628\text{Н} \text{ и } R_{B\max} \approx 153\text{Н} \text{ при } \tilde{\rho}_{\max} \approx 12\text{мм}, \Omega_{\max} \approx 2\pi \cdot 118\text{Гц}.$$

При $K=1.35 \cdot 10^{10}\text{Н}/\text{м}^{3/2}$ и $N=0.48 \div 153\text{Н}$ соотношение (8) дает результат (в Н/м), представленный на рис.3.

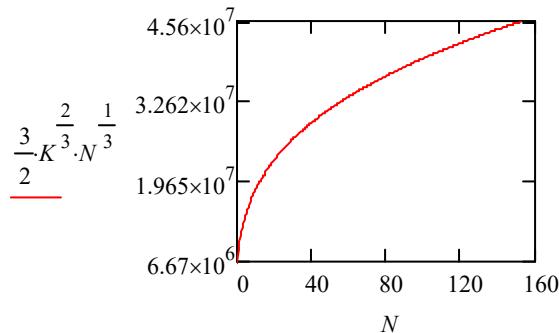


Рисунок 3 – Зависимость контактной жесткости (Н/м) экспериментальной пары «стальной вал – бронзовая втулка» от инерционной нагрузки со стороны насаженного на вал диска

При нагружении подшипника качения приложенное радиальное усилие R_A перераспределяется между телами качения (рис.4), так что в общем виде уравнение равновесия внутреннего кольца подшипника качения под нагрузкой R_A и при реакциях N_i со стороны шариков/роликов имеет вид:

$$R_A = N_0 + 2 \sum_{i=1}^p N_i \cos i\chi, \quad (9)$$

где $\chi=360^\circ/Z$ - угол между смежными телами качения в их общем количестве Z , причем в уравнение входят только те члены, для которых угол $i\chi$ меньше 90° , так как верхняя половина подшипника не нагружена, $i=1 \div p$ - порядковый номер шарика/ролика в нагруженной зоне при отсчитывании от направления внешней нагрузки, p - ближайшее меньшее целое, удовлетворяющее условию $p \leq Z/4$ (за исключением не очень практического случая $Z=3$, тогда $p=1$).

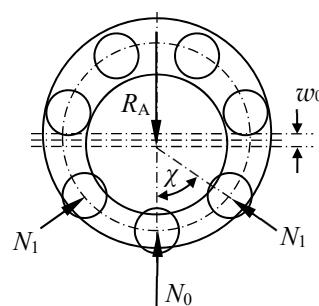


Рисунок 4 – Распределение нагрузки R_A между телами качения

Вместе с тем, во-первых, величина упругих деформаций w_i по линии, проходящей через центр i -го тела качения, представляет собой проекцию наибольшего смещения w_0 ; а именно $w_i = w_0 \cos i\chi$. Во-вторых, по Герцу (1) нормальная реакция наиболее нагруженного шарика/ролика $N_0 = K w_0^{3/2}$, а

нормальная нагрузка N_i на i -ый шарик/ролик $N_i = Kw_i^{3/2}$. Отсюда:

$$\frac{N_i}{N_0} = \left(\frac{w_i}{w_0} \right)^{3/2} \text{ или } N_i = N_0 \cos^{\frac{3}{2}} i\chi. \text{ На основании последнего соотношения}$$

уравнению равновесия (9) можно придать вид:

$$N_0 = \frac{k_z}{Z} R_A, \text{ где } k_z = \frac{Z}{1 + 2 \sum_{i=1}^p \cos^{\frac{5}{2}} 2\pi i / Z} = \text{const.}$$

Приближенные значения коэффициента k_z и отношения k_z/Z , вычисленные для ряда возможных комбинаций Z и p , приведены в табл.2.

Табл.2. Некоторые практические значения $k_z=k_z(Z,p)$ и процентные доли $k_z/Z \times 100\%$ внешней нагрузки, выпадающей на шарик/ролик, расположенный напротив конца вектора приложенной радиальной силы

Z	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
p	1					2					3
k_z	3	4	4.52	4.43	4.34	4.35	4.39	4.38	4.36	4.36	4.37
$k_z/Z \times 100\%$	100	100	90.4	73.8	62	54.4	48.8	43.8	39.6	36.3	33.6

Знание постоянной K подшипника и силы N_0 нормального давления на его наиболее нагруженный шарик/ролик позволяет по аналогии с (8) рассчитать радиальную жесткость подшипника качения:

$$k_b = \frac{3}{2} K^{2/3} N_0^{1/3}.$$

В частности для подшипника 180018 с $K=2.09 \cdot 10^9 \text{Н}/\text{м}^{3/2}$ и в рассматриваемых условиях $N_0=0.62 \times (5.15 \div 1628) \text{Н}$ жесткостная характеристика (в $\text{Н}/\text{м}$) имеет вид – рис.5.

Данный график хорошо согласуется со значением полуэмпирической формулы, рекомендованной для расчетов Позняком [10]:

$$k_b = 5350 \sqrt[3]{Z^2 D_w N_0} = 5350 \sqrt[3]{7^2 \cdot 0.3969 \cdot 0.515} \approx 1.15 \cdot 10^4 \text{ кГ/см} \approx 1.15 \cdot 10^7 \text{ Н}/\text{м}.$$

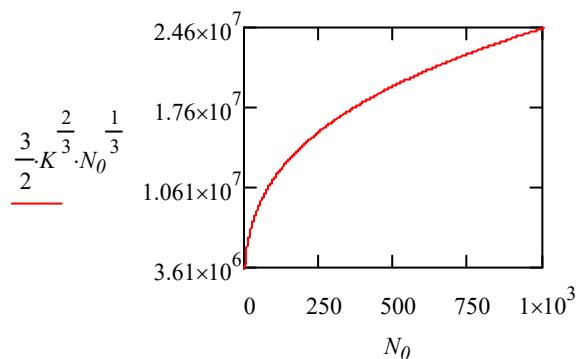


Рисунок 5 – Зависимость радиальной жесткости (Н/м) подшипника 180018 от динамической нагрузки со стороны экспериментального вала с диском

Выводы:

Базовая математическая модель двух контактирующих тел (2, 3) показывает, что в случае одинаковых материалов выпуклая образующая цилиндр поверхность жестче выпуклой сферической – это в частности, а в общем – контакт согласованных (выпуклой и вогнутой) поверхностей жестче взаимодействия несогласованных (обеих выпуклых или выпуклой с плоской).

При математическом моделировании подшипника обнаруживается, что внешнюю нагрузку воспринимают меньше половины всех тел качения, причем наибольшая нагрузка приходится на шарик/ролик, расположенный напротив конца вектора приложенного усилия, и он несет нагрузку в 4÷6 раз большую средней, которая имела бы место, если бы все тела качения воспринимали нагрузку поровну.

Максимальная нагрузка со стороны экспериментального вала с диском соизмерима с грузоподъемностью его подшипника 180018 (табл.2).

Информация о поддержке:

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ в рамках Федеральной целевой программы «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014-2020 годы». Соглашение о предоставлении субсидии № 075-15-2019-1865 от 02.12.2019 г. (внутренний номер соглашения: 05.607.21.0300), проект RFMEFI60719X0300.

ЛИТЕРАТУРА

1. Джонсон К. Механика контактного взаимодействия. М.: Мир, 1989. 510 с.
2. Ворович И.И., Александров В.М. Механика контактных взаимодействий. М.: Физматлит, 2001. 672 с.
3. Журавлев В.Ф., Бальмонт В.Б. Механика шарикоподшипников гироскопов. М.: Машиностроение, 1986. 272 с.
4. Галахов М.А., Бурмистров А.Н. Расчёт подшипниковых узлов. М.: Машиностроение, 1988. 272 с.
5. Фролов А.В. Расчет жесткости шпиндельного узла на двух радиально-упорных шарикоподшипниках // СТИН, 2006, №8. С.17-22.
6. Petersen D. et al. Analysis of bearing stiffness variations, contact forces and vibrations in radially loaded double row rolling element bearings with raceway defects. Mechanical Systems and Signal Processing, 2015. Vol.50. Pp.139-160.
7. Александров И.К. Определение величины проскальзывания тела качения в шариковом подшипнике // Вестник машиностроения, 2013, №11. С.19-20.

8. Рубин А.М. Расчетная модель радиального подшипника при распределении нагрузки по телам качения // Вестник машиностроения, 2014, №2. С.49-50.
9. Новиков Л.З. Определение собственных частот колебаний электродвигателя, связанных с нелинейной упругостью подшипников // Известия академии наук СССР, ОТН Механика и машиностроение, 1961, №6. С.84-90.
10. Позняк Э.Л. Вибрации в технике: Справочник. В 6-ти т. М.: Машиностроение, 1980. Т.3, с.174.

UDC: 621.787.669

IMPROVING THE PERFORMANCE PROPERTIES OF GEARS FOR MINING EQUIPMENT

S. Pakhomova¹, R. Fakhurtdinov²

^{1,2}Ph.D., assistant Professor

^{1,2}Bauman Moscow State Technical University, Russia, e-mail: ¹mgtu2013@yandex.ru, ²ferum-2011@yandex.ru

Abstract. Deformation hardening - important technological factor of management of carburized layer substructure. The formation of a favorable substructure - substructure with high resistance to local microplastic deformation - occurs in conditions of development of competitive processes. On a degree of their development is renders the influence of initial structural condition of a carburized layer, which, except chemical composition, is defined by technology of thermochemical treatment. To number of the factors, dependent from technology of thermochemical treatment, concern: carbon saturation in the carburized layer, the martensite morphology and carbon concentration in it, volumetric share of a redundant carbide phase and its distribution in a carburized layer.

Keywords: deformation hardening, thermochemical treatment, carburized layer, substructure, martensite morphology, carbide phase.

Introduction. To improve the performance of carburized gears, shot-impact hardening is widely used, which strengthens weak parts of the structure and thereby hinders the development of microplastic deformation in them under contact loading [1-3]. The effectiveness of shot blasting treatment (SBT) depends on the initial structural state of the carburized layer, which is determined by the carburizing technology in addition to the chemical composition of the steel. The factors that depend on the latter include: the saturation of the carburized layer with carbon; the morphology of martensite and the concentration of carbon in it; volume fraction of the excess carbide phase and its distribution over the thickness of the near-surface zone of the carburized layer.

All the above-mentioned structural characteristics, through which technological heredity manifests itself, should influence the degree of manifestation of

heterogeneity of plastic deformation, the nature of changes in the substructure of the phases of the carburized layer during SBT, and, as a result, on the performance characteristics. The determining factor should be considered the saturation of the carburized layer with carbon, since the latter indirectly affects the mechanism of plastic deformation through the morphology of martensite and the volume fraction of the carbide phase.

A cardinal solution to the main issues in the field of thermochemical treatment is the use of new processes - ion carburizing (*IC*) or ion carbonitriding (*ICN*), recognized in Japan, Germany and the United States as the most priority processes for the formation of carrier diffusion coatings. The high efficiency of these processes has been confirmed in studies [4-5]. Plasma treatment of a glow discharge allows not only to reduce the duration of exposure several times and increase the level of mechanical properties, but also to achieve fundamentally new effects associated with the ability to control the phase composition and structure of the diffusion layer. It provides uniform carburization due to the exact repetition of the glow discharge plasma of all the contours of the part and spontaneous convection of the gas medium ionized by the discharge. The actuators of the plants allow rapid changes in the process temperature, pressure, and composition of the technological atmosphere and create conditions for various combined modes of diffusion saturation to create a layer of a given saturation.

There are other methods of producing high-load parts, such as composite materials [6, 7] or ceramics [8]. Recently, methods of surface hardening by electro-mechanical processing have been widely used [9-11].

The purpose of this work is to improve the technology of surface hardening of high-loaded gears made of heat - resistant steels.

Materials and equipment of the experiment

Objects of research made of steel C0.16Cr3NiWVMoNb (Tab. 1) both gas carburized (*GC*) and new processes carried out by heating a low-temperature glow discharge plasma - ion carburized (*IC*) and ion carbonitriding (*ICN*) were subjected to this method. Samples underwent typical gears thermochemical treatment: carburizing at 930-950°C, tempering at 650°C, hardening in oil from 910°C, cold treatment at -70°C, low tempering at 250°C. After a thermochemical treatment was performed SBT (micro balls of bearings with $d = 0.2 \text{ mm}$) and low tempering at 200°C.

Table 1. – Chemical composition of steel C0.16Cr3NiWVMoNb

Content of elements, %								
C	Si	Mn	Cr	Ni	W	Mo	V	Nb
0.14-0,19	0.6- 0,8	0.4- 0,6	2.6- 3,0	1.0- 1,5	1.0- 1.4	0.4- 0.6	0.3-0.5	0.1- 0.2

Different saturation of the diffusive layer with carbon was obtained by performing one-stage (with constant technological parameters) and two-stage modes (with changing parameter). The latter was carried out at a constant temperature, but with a step-by-step mode of feeding the carbon.

IC was performed on equipment and according to the method [4] in an atmosphere of acetylene diluted with a gas mixture of argon and hydrogen, and *ICN* - in a gas medium of acetylene and dissociated ammonia. The time of the process was chosen in such a way as to ensure the saturation of the carburizing layer to the same degree as after gas carburizing.

Experimental results and discussion

Carrying out the process in two stages eliminates the supersaturation of the surface with carbon, reduces the density of carbides, and increases the effective thickness of the layer (Fig. 1). At the second stage, in the absence of carbon input from the gas environment, the carbon source for the formation of the layer is small carbide particles. Their distribution and diffusion redistribution of carbon increase the doping of the solid solution and the uniformity of the structure of the carbide zone: the difference in the size of the carbide particles decreases, and the density of their distribution is equalized.

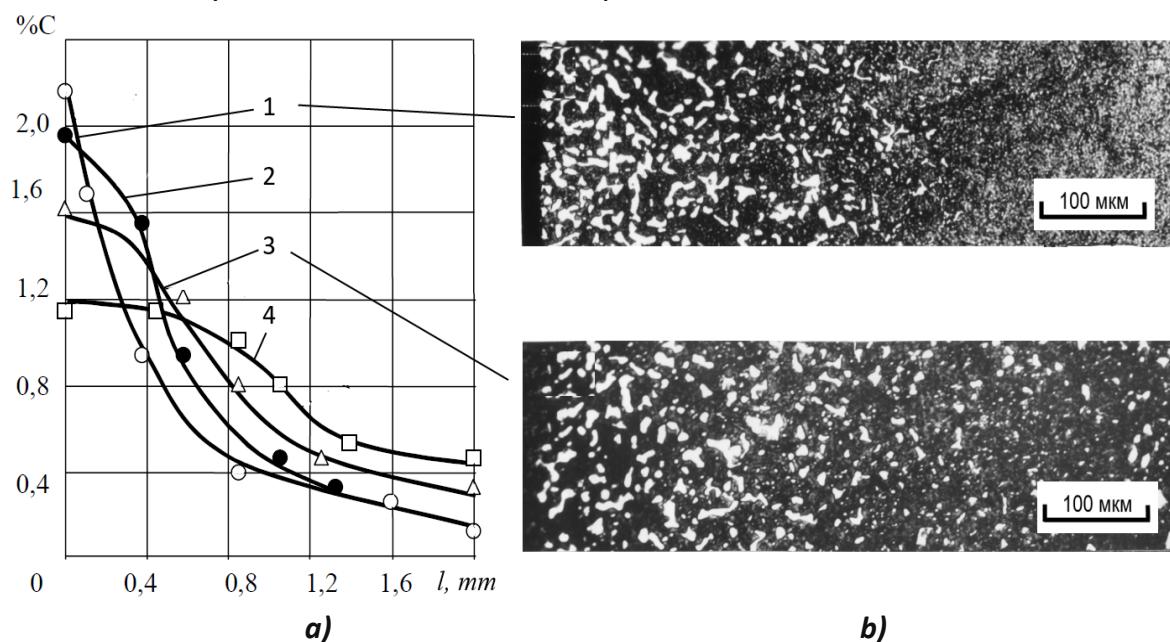


Fig. 1. – Carbon distribution C by thickness (a) and microstructure of carburized layer (b) of steel C0.16Cr3NiWVMoNb after GC ($t = 940^{\circ}\text{C}$, total time = 10 h) with different duration of the second stage: 1 - 0 h; 2 - 3 h; 3 - 4 h; 4 - 5 h

Studies have shown that different carbon concentrations in the carburized layer of steel 16X3NVFMB-sh caused different effects of SBT on the martensite substructure, surface quality characteristics and durability (Tab. 2). The differ-

ences are due to the different proportion of the formed carbide phase. The volume fraction of the latter affects the degree of localization of microplastic deformation and the level of development of local stress relaxation processes in the martensitic matrix. Positive processes associated with the partial decomposition of martensite and the redistribution of carbon atoms in its crystal lattice in steel with a low proportion of the carbide phase in the diffusion layer, prevail over the increase in the density of defects for a longer time *SBT*. The increased ability of the martensitic matrix to relax stresses reduces the risk of areas with a critical concentration of microdeformation, and therefore contributes to a somewhat greater absorption of energy. It is determined that the optimal ratio of the duration of the first and second stages of the gas carburizing process is 60% and 40 %. The proportion of excess carbide phase in the diffusion layer is ~ 15 %, and the surface hardness is ~ 62 HRC (see Tab. 2).

The analysis of the obtained data allows us to explain the different efficiency of strain hardening after HZ for the specified modes as follows. When the near-surface layer contains large and closely spaced carbide inclusions, and there is no residual austenite, local stresses in their vicinity are large and commensurate with the yield strength of the material, which, when applying a cyclic load, facilitates the manifestation of the micro-fluidity effect and contributes to the early origin of a fatigue crack.

Table 2. – The durability of steel C0.16Cr3NiWVMoNb after thermochemical treatment (*GC*, *IC* or *ICN*), *SBT* and low tempering (190-200°C, 2 h)

No n/n	Thermochemical treatment	Volumetric share carbides in the layer 0-20 μm	Surface hard- ness, <i>HRC</i>	Durability, $N_{50} \cdot 10^{-6}$ cycles			N_3/N 1
				without <i>SBT</i>	after <i>SBT</i>	after <i>SBT</i> and tem- pering	
				N_1	N_2	N_3	
1	<i>GC</i> - 1 stage	25	63	11	4	32	3
2	<i>GC</i> 2 stage $t=940^\circ\text{C}$ $\tau_{\text{tot}}=10h$	$\tau_2=3 h$	20	63	17	18	40
		$\tau_2=4 h$	15	62	16	24	44
		$\tau_2=5 h$	10	60	8	12	24
3	<i>IC</i> - 1 stage $t=950^\circ\text{C}; \tau=2,5 h$	25	63	12	4	32	2.7
4	<i>IC</i> 2 stage $t=950^\circ\text{C}$ $\tau_1=\tau_2=1,25 h$	15	62	16	24	48	3.0
5	<i>ICN</i> - 1 stage $t=950^\circ\text{C}; \tau=2,5 h$	20	63-64	18	12	50	2.8
6	<i>ICN</i> 2 stage $t=950^\circ\text{C}$ $\tau_1=\tau_2=1,25 h$	12	62-63	25	36	58	2.4

In addition, the reduced carbon concentration in the surface area facilitates grinding and reduces the risk of cauterization. Both significantly improve the quality of products.

Under the same type of *IC* and *GC* modes, the distribution of carbon in the diffusion layer, its microstructure and phase composition do not differ from those that are characteristic of the *GC* and are shown above (Fig. 2).

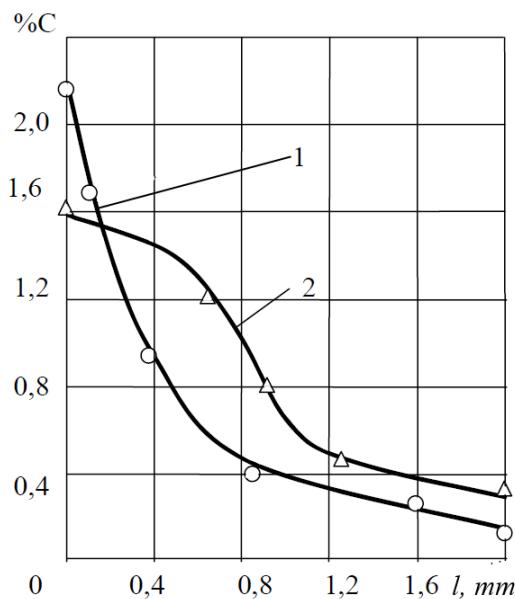


Fig. 2. – Carbon distribution C by thickness of carburized layer l of steel C0.16Cr3NiWVMoNb after *IC* ($t = 950^\circ\text{C}$, total time = 2.5 h) with one stage (1) and two-stage ($\bar{\tau}_1 = \bar{\tau}_2 = 1.25$ h) (2)

The presence of nitrogen in *ICN* affects the phase composition and structure of excess phases. Along with the main carbonitride $M_3(CN)$, which is mixed with a small amount of Cr_7C_3 , a fine complex-doped nitride phase MN and $M_2\text{N}$ is formed in the near-surface layer based on chromium nitrides CrN and Cr_2N . The amount of the nitride phase is $\sim 3\%$.

In the single-stage *ICN* mode, a diffusion layer is formed with less supersaturation of the surface with carbon at a flatter distribution than in the same *IC* mode (Fig. 3). This leads to the formation of a longer active carbonitride zone with a slightly smaller volume fraction of particles (see table 2). The two-stage *ICN* mode significantly increases the effective layer thickness, although the average particle sizes for these processes are almost the same.

It is necessary to emphasize the uniformity of the thickness of the diffusion layer along the profile of parts after thermochemical treatment in the glow discharge plasma.

The same structural state of steel after the equivalent modes of *GC* and *IC* provides the same change in structure and properties at *SBT* to. However, all other things being equal, the slightly higher efficiency of *IC* and *ICN* is due to the greater uniformity of the distribution of the carbide phase in the layer, since this reduces the risk of stress localization in the boundary volumes.

The active carbonitride zone formed under the single-stage *ICN* regime with a slightly smaller volume fraction of particles and a martensitic matrix doped with nitrogen is more resistant to contact loads than the carburized surface.

Technological heredity is manifested in carbonitriding layers as well as after GS. After *SBT*, the durability of samples with a large proportion of carbonitride excess phase (after a single-stage *ICN*) does not increase, whereas in samples with a less developed excess phase (after a two-stage *ICN* mode), the durability increases by 40-50% after the rational mode (see table 2).

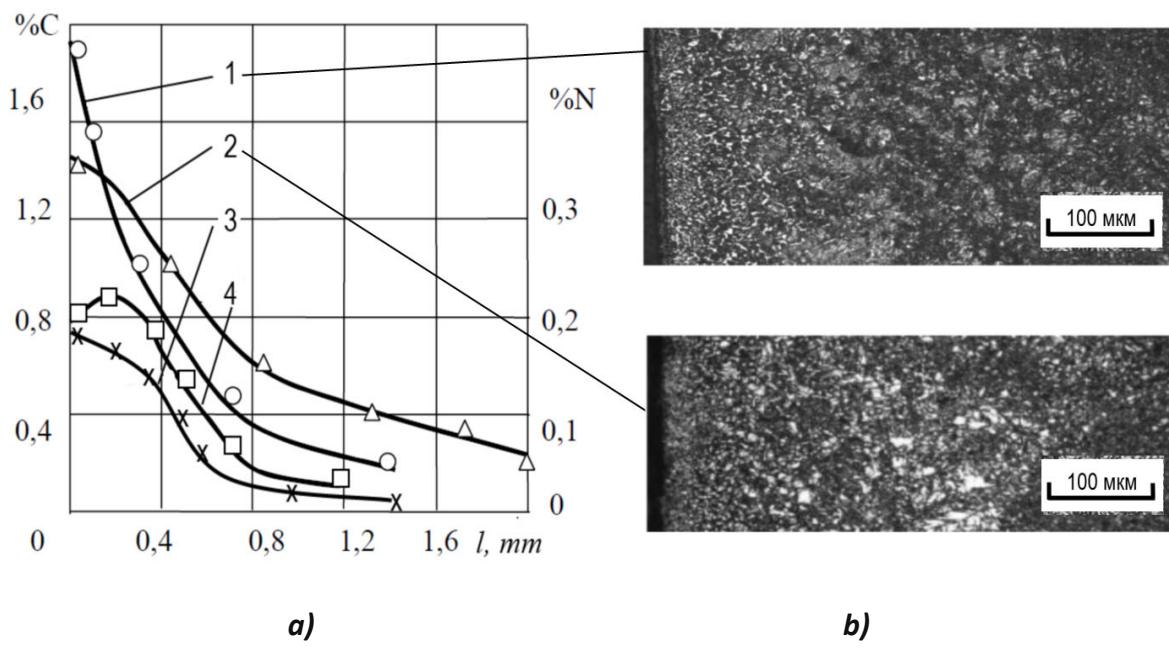


Fig. 3. – Carbon distribution C (1, 2) and nitrogen N (3, 4) by thickness (a) and microstructure of carbonitrided layer (b) of steel C0.16Cr3NiWVMoNb after *ICN* ($t = 950^{\circ}\text{C}$, total time = 2.5 h) with one stage (1, 3) and two-stage ($\tau_1 = \tau_2$) (2, 4)

The additional low tempering after *SBT* increases the contact wear of steels subjected to *IC* and *ICN* as well as after *GC* (see table 2). Its positive effect, as noted in [4, 12], is associated with a decrease in local micro-stresses near structural stress concentrators (for example, the nitrides or the carbonitrides), as well as an increase in the degree of fixation of dislocations by embedding atoms. In this case, dislocations are blocked primarily by carbon atoms, not nitrogen.

Conclusions

1. The effectiveness of *SBT* depends on the technological inheritance created by the thermochemical treatment. For heat-resistant steels, *SBT* becomes effective if the *GS* is carried out in a two-stage mode. The optimal ratio of stage durations (60% and 40%) was determined, in which the durability of samples is 1.5 times higher than in a single-stage saturation process.

2. The preferred methods of saturation in the glow discharge (*IC* and *ICN*) are characterized by a more uniform distribution of carbides in the layer, the ability to control the saturation process and the stability of the results.

3. The use of rational technology that takes into account the technological inheritance of *SBT* increases the performance properties of the working surfaces of the gears for mining equipment by at least 2.5 times.

REFERENCES

1. Suslov A.G. Inzheneriya poverkhnosti detaley [Engineering of surface parts]. M.: Mashinostroyeniye, 2008, 320 p.
2. Ryzhov N.M. and Pakhomova S.A. Effectiveness of thermal shot blasting for case-hardened steels // Met. Sci. Heat Treat., 1994, vol. 36, no. 5, pp. 253–257. DOI: 10.1007/BF01390450
3. Grafen W., Edenhofer B. Acetylene low-pressure carburising – a novel and superior carburizing technology // Heat treatment of metals. 1999. V. 26, № 4. P. 79–85.
4. Pakhomova S A, Fakhurdinov R S, Tsinkolenko O A, Zolotov B S. The influence of carburization technology on performance properties of high-loaded gear wheels // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. **747** (2020) 012126. DOI:10.1088/1757-899X/747/1/012126
5. Kula P., Olejnik J., Kowalewski J. New vacuum carburizing technology // Heat treatment progress. 2001. V. 1, №. 1. P. 57–65.
6. Silkin A.A., Linnik A.A., Pankratov A.S., Kurganova Y.A., Kobernik N.V., Mikheev R.S. Formation of the structure of the weld metal upon the introduction of nanoparticles into the weld pool // Russian metallurgy (Metally). 2016. T. 2016. № 13. C. 1253-1256. DOI: 10.1134/S0036029516130206
7. Berezovskii V.V., Shavnev A.A., Solyaev Y.O., Lur'e S.A., Babaitsev A.V., Kurganova Y.A. Mechanical properties of a metallic composite material based on an aluminum alloy reinforced by dispersed silicon carbide particles // Russian metallurgy Metally). 2015. T. 2015. № 10. C. 790-794. DOI: 10.1134/S0036029515100055
8. Pakhomova S.A. and Povalyayev A.I. Silicon nitride-based ceramic composite materials for corrosion-resistant rolling bearings // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. **683** (2019) 012040. DOI:10.1088/1757-899X/683/1/012040
9. Fedorova L.V., Fedorov S.K., Serzhan A.A., Golovin V.V., Systrov S.V. Electromechanical surface hardening of tubing steels // Metal Science and Heat Treatment. 2017. T. 59. № 3-4. C. 173-175. DOI: 10.1007/s11041-017-0123-z
10. Fedorova L., Fedorov S., Sadovnikov A., Ivanova Y., Voronina M. Abrasive wear of hilon botn hardfacings // В сборнике: IOP Conference Series: Materials Science and Engineering Cep. "International Conference on Mechanical Engineering and Applied Composite Materials" 2018. C. 012038. DOI: 10.1088/1757-899X/307/1/012038
11. Fedorova L.V., Fedorov S.K., Ivanova Y.S., Voronina M.V. Increase of wear resistance of the drill pipe thread connection by electromechanical surface hardening // International Journal of Applied Engineering Research. 2017. T. 12. № 18. C. 7485-7489.
12. Pakhomova, S.A. Plastic deformation hardening of iron-nickel alloys // IOP Publishing. Journal of Physics: Conference Series. 1431 (2020) 012043. DOI:10.1088/1742-596/1431/1/012043

УДК 622.2:622.235

ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА МИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ ПРИ ОТРАБОТКЕ СЛОЖНО-СТРУКТУРНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ ПОДЗЕМНЫМ СПОСОБОМ

В.В. Процив¹, А.Ю. Журавель², А.Г. Недельский³

¹доктор технических наук, профессор кафедры конструирования, технической эстетики и дизайна, Национальный технический университет «Днепровская политехника», Днепр, Украина, e-mail: protsiv@ukr.net

²аспирант кафедры конструирования, технической эстетики и дизайна, Национальный технический университет «Днепровская политехника», Днепр, Украина, e-mail: alekseyzhuravel@ukr.net

³кандидат технических наук, старший научный сотрудник УкрНИПИпромтехнолоии, Желтые Воды, Украина

Аннотация. В работе рассмотрены вопросы отработки сложно-структурных месторождений камерными системами разработки с показателями разубоживания и потерь соответственно 28÷30% и 3,5÷5,3%, что существенно ведет к удорожанию конечной продукции и снижению ее конкурентной способности на мировом рынке.

Ключевые слова: разубоживание, слоевая, камерная система разработки, боровая коронка, граностав, машинный класс.

IMPROVING THE QUALITY OF MINERAL RAW MATERIALS WHEN EXPLOITING COMPLEX STRUCTURAL DEPOSITS OF USEFUL MINING IN UNDERGROUND METHOD

Vladimir Protsiv¹, Alex Juravel², Alexander Nedelsky³

¹Ph.D., Professor, Engineering and Generative Design Department, Dnipro University of Technology, Dnepr, Ukraine, e-mail: protsiv@ukr.net

²Postgraduate, Engineering and Generative Design Department, Dnipro University of Technology, Dnepr, Ukraine, e-mail: alekseyzhuravel@ukr.net

³Ph.D., senior researcher, UkrNIPIpromtehnoloii, Zheltye Vody, Ukraine

Abstract. The paper considers the issues of developing complex structural deposits using chamber development systems with dilution and loss indicators of 28–30% and 3.5–5.3%, respectively, which significantly leads to an increase in the cost of the final product and a decrease in its competitive ability in the world market.

Keywords: dilution, layered, chamber development system, boron crown, granular composition, machine class.

Введение. Ядерная энергетика Украины, которая использует в качестве энергоносителя уран, является одной из важнейших отраслей экономики страны, вырабатывающей свыше 50% всей электроэнергии для нужд народного хозяйства и обеспечивает энергобезопасность страны [1].

Государственное предприятие ВостГок осуществляет добычу урановой руды, ее переработку по заводской технологии, превращая в концентрат природного урана [2].

Отрабатываемые месторождения урановых руд залегают на глубинах от 300 м и ниже и представлены различными горно-геологическими характеристиками, включающими рудные залежи мощностью от 15÷20 м до 40÷70 м, углом падения от 5° до 90° [3].

Крепость руд и вмещающих пород по шкале проф. М.М. Протодьяконова составляет $\phi=12\div20$. На урановых рудниках применяются камерные системы разработки (подэтажных штреков и ортов) [4].

Рудоносность рудных залежей может резко изменяться друг от друга из-за включения в них пустых пород, что в свою очередь создает сложности в их отработки и резко ухудшает технико-экономические и стоимостные показатели в целом, отражающимися на цене и конкурентоспособности конечного продукта.

Поэтому проблема повышения содержания металла в добываемой товарной руде является актуальной и требует своего решения [5].

Целью работы является определение факторов и возможностей повышения качества минерального сырья при отработке сложноструктурных урановых месторождений подземным способом в пределах выемочного участка: заходка, панель.

Для достижения поставленной цели в данной работе использовались следующие методы исследований:

1) аналитические методы на основе изучения, обобщения научно-технической информации по данному вопросу;

2) теоретические исследования, основанные на закономерностях разрушения горных пород.

3) опытно-промышленные исследования в производственных условиях действующего предприятия.

Учёт положительных результатов повышения износостойкости бурого инструмента в каждом из факторов является неоспоримым доказательством их обоснования для внедрения в производство на основе данных, полученных при проведении соответствующих научно-исследовательских работ.

Материал и результаты исследований.

На рудниках, где ведётся добыча радиоактивных руд, для определения рудоносности и оконтуривания рудной залежи применяются радиометрические методы контроля, которые позволяют выделить контуров рудных тел и количеством пустых пород, содержащихся в отбиваемом объеме, что может служить основанием для перехода с камерной системы разработки на другую систему разработки, например, слоевую.

Применение слоевой системы разработки с мощной буровой и погрузочно-доставочной техники обеспечивает добычу руды с гораздо низкими показателями потерь и разубоживания, а, следовательно, и более низкой себестоимостью конечной продукции.

Отечественный опыт отработки слоевой системой разработки получен при эксплуатации блока 39 – 49 залежи 2Б – 2В Мичуринского месторождения Ингульского рудника, при этой системе разубоживание составляло 11,5%, потери 5,2%, в целом по шахте при системе подэтажных ортов (штрееков) на это время разубоживание и потери соответственно равны 24% и 3,5% при системе разработки подэтажными штреками (ортами) [1,6].

Применение шпуровой отбойки, в том числе качественных буровых коронок при слоевой системе разработки позволило обеспечить не только снижение потерь и разубоживания но и повысить производительность труда на проходке горных выработок, получить грансостав машинных классов для дальнейшей переработки, что является главным практическим результатом.

Другое практическое значение данной работы заключается в обоснованных технологических и технических требованиях к буровой, погрузочно-достаточной технике, новых технических решениях, применение которых позволит увеличить темпы проходки горных выработок в 2 раза, производительность труда в 1,5 раза, снизить затраты на проходческие работы на 40%, улучшить санитарно-гигиенические условия труда подземного персонала [2,7].

Вывод. 1. Для повышения конкурентоспособности конечной продукции на мировом рынке урана необходимо разработать программу широкомасштабных научно-исследовательских работ на всей технологической линии, начиная от выемочной единицы (заходка, панель) подземного рудника до переработки её на горно-металлургическом заводе.

2. Первым этапом научно-исследовательских работ должны быть исследования на выемочной единице (заходка, панель) при применении слоевой системы разработки, где в основном формируется потери и разубоживание.

3. В связи с применением слоевой системы разработки при отработки сложно-структурных месторождений урана необходимо переходить на

мощную буровую и доставочную технику, способную реализовать результаты апробированных параметров буровзрывных работ и управления качеством дробления, гранулометрический состав которого отвечает требованиям СТП-2203-80 и максимальному содержанию металла по классам крупности.

4. Для реализации потенциальных возможностей новый буровой техники при отработки урановых руд слоевыми системами разработки необходимо создать новую отечественную высокоэффективную буровую коронку на основе новейших достижений в области науки и техники, которая сыграет решающую роль в снижении стоимости конечного продукта и может быть конкурентоспособным буровым инструментом как на внутреннем, так и мировом рынке буровой техники.

5. Под научно-техническими достижениями в области науки и техники в данном материале понимается анализ, выбор, обоснование таких технических решений, которые лягут в основу разработки конструкторско-технологических параметров деталей (например, буровой коронки) и технологических процессов, отвечающим требованиям по качественным, ценовым и экологическим показателям.

6. Впервые новая буровая коронка при слоевой системе разработки рассматривается как реальный фактор, снижающий потери и разубоживание, и гарантированно обеспечивающий значительный экономический эффект при переработке урановой руды на гидрометаллургическом заводе за счет снижения затрат на дробление, измельчение, выщелачивание руды, утилизацию отходов производства.

7. Внедрение результатов научно-исследовательских работ в производство позволит значительно повысить качество добываемой товарной урановый руды, поднять производительность труда и технико-экономические показатели на всех стадиях добычи, что приведёт к существенному снижению себестоимости уранового концентрата и возможности его конкурировать на мировом рынке урана.

ЛИТЕРАТУРА

1. А.Х. Дудченко, А.Г. Недельский, Ю.Я. Савельев и др. Совершенствование технологий подземной добычи урановых руд из месторождений Украины (часть 2) научный вестник НГУ – 2003 – №11 – С.15 – 18.

2. Недельский А.Г., Дудченко А.Х., Савельев Ю.Я. и др. Отчет о научно-исследовательской работе: "Исследование и разработка параметров селективной выемки урановых месторождений с технико-экономическим обоснованием нетрадиционных систем разработки (селективная выемка)." Заключительный. Украинский научно-исследовательский и проектно-изыскательский институт промышленной технологии. УкрНИПИ-промтехнологии инв.№ 288 нил. Желтые Воды 2003. – С.83.

3. Акт о проведении эксплуатационного анализа (устойчивости инструмента и скорости бурения) буровых коронок производства фирмы «Мицубиси» на руднике «Северный» в комбинате «Печенганикель» ОАО «Кольский ГМК» 2005г. Фонды ОАО «Кольский ГМК».
4. В.И. Мосинец, Д.П. Лобанов, М.Н. Тедеев и др. Строительство и эксплуатация рудников подземного выщелачивания. М. – «Недра» – 1987 – С.153, 193, 195.
5. А.Ю. Журавель, В.В. Процив, С.А. Федоряченко От качественного бурового инструмента к эффективной отработки месторождений полезных ископаемых подземным способом. Збірник наукових праць Національного гірничого університету №52. Дніпро 2017 – С.186 – 191.
6. Недельский А.Г. Обоснование технологических параметров и внедрение методов управления качеством дробления при отбойке крепких крупноблочных массивов скважинными зарядами. Диссертация на соискание ученой степени к.т.н. ДГУ, Днепропетровск 1988 – С.50, 47, 123.
7. Е.Г. Баронов Пути интенсификации процессов отбойки, дробления и измельчения железных руд. Горный журнал №8 – 1982 – С.40 – 42.

УДК 622.831.3:622.34

ПОЛІПШЕННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ХАРАКТЕРИСТИК МОСТОВОГО КРАНА ЗА РАХУНОК ВИБОРУ ОПТИМАЛЬНОГО ПРОФІЛЮ ХОДОВОГО КОЛЕСА

T.C. Savel'єva¹, M.S. Цонда², O.S. Швирид³

¹кандидат технічних наук, доцент, e-mail: savelievats@gmail.com

^{2,3}магістр, e-mail: marinatsonda1998@gmail.com

^{1,2,3}кафедра конструювання, технічної естетики і дизайну, Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», г. Дніпро, Україна

Анотація. В роботі проведені дослідження з вибору оптимальної конструкції ходових коліс мостового крана для зменшення зносу та збільшення строку його експлуатації. За допомогою методу кінцевих елементів був проведений порівняний аналіз конструкцій буксового вузла мостового крана з різними видами ходових коліс. Доказана доцільність застосування колеса з конформним профілем, яке має менше напруження на робочій поверхні.

Ключові слова: мостовий кран, ходові колеса, знос, конформне колесо, метод кінцевих елементів.

IMPROVEMENT OF BRIDGE CRANE OPERATING CHARACTERISTICS ON THE CHOICE OPPORTUNITY OF OPTIMAL WHEEL PROFILE

T.S. Savelieva¹, M.S. Tsonda², O.S. Shvyryd³

¹ Ph.D, Associate Professor, E-mail: savelievats@gmail.com

^{2,3} Student, E-mail: marinatsonda1998@gmail.com

^{1,2,3}Engineering and Generative Design Department, Dnipro University of Technology, Dnipro, Ukraine

Abstract. In the work the researches on the choice of the optimum design of the running wheels of the bridge crane for reduction of wear and increase of its service life are carried out. Using the finite element method, a comparative analysis of the designs of the axle crane axle assembly with different types of wheels was carried out. The use of a wheel with a conformal profile that has less stress on the work surface has been proven.

Keywords: bridge crane, running wheels, wear, conformal wheel, finite element method.

Вступ. Переход підприємств машинобудування і будівництва на ринкові відносини обумовлює підвищення конкурентоспроможності вантажопідйомальних кранів і якості їх експлуатації.

Робота вантажопідйомальних кранів призводить до поступового зносу і руйнування складальних одиниць і деталей. Зношування, що виникає під впливом різних факторів при нормальній експлуатації кранів є природним зносом. Зношування, що протікає швидко і є результатом поганого догляду, дефектів виробництва, називається аварійним, а його результат - аварійним зносом.

Найбільш часто застосовуваним типом крану на виробництвах є мостовий тип крану [1]. Кранами мостового типу називаються вантажопідйомні крани з вантажозахватним органом, підвішеним до вантажного візка, до поворотної стріли на вантажному візку або талі, що переміщається по пересувному мосту.

Сфери застосування мостових кранів досить широкі: промисловість, металургія, сільське господарство, складське зберігання, торгівля тощо. Використання сучасних вантажопідйомних механізмів дозволяє істотно знизити трудовитрати, скоротити час виконання найважливіших операцій в будь-якому виробничому процесі.

Під час експлуатації кранів найчастіше зносу піддаються ходові колеса, що призводить до незапланованих виробництвом технічних робіт з їх ремонту або закупівлі та монтажу нових коліс.

Мета роботи – вибір оптимальної конструкції ходових коліс мостового крана для зменшення зносу та збільшення строку експлуатації.

Досягнення поставленої мети реалізовано вирішенням наступних задач: аналізом конструкції буксового вузла ходової частини мостового крана; визначення навантажень, діючих на ходове колесо та напружень на конструкцію мостового крана за допомогою методу кінцевих елементів; порівняльного аналізу зміни конструкції.

Матеріал і результати дослідження.

В роботі в якості зміни конструкції розглядається три види колеса на заміну циліндричного: конічне, біконічне та конформне. За допомогою методу кінцевих елементів був проведений порівняний аналіз конструкцій буksового вузла мостового крана з різними видами ходових коліс

У якості прикладу було взято мостовий електричний однобалковий опорний кран КМЕОП-3,2-12,0-13,0-УЗ [2].

Зношування, що протікає швидко і є результатом поганого догляду, дефектів виробництва є аварійним зносом. Приклади зносу ходових коліс наведені на рисунку 1.



Рисунок 1 – Ходові колеса з зносом

Знос ходових коліс відбувається як на робочій поверхні катання, так і у реборд. Якщо одночасне вироблення ведучих коліс перевищує 3-4% від діаметра або товщина реборд, внаслідок зносу, стала менше 15 мм, колеса здають в ремонт або замінюють. Причинами вироблення робочих поверхонь катання ходових коліс є:

1. Різні діаметри коліс крана, що приводяться від одного двигуна, в результаті чого відбувається пробуксовування і підвищений знос;
2. Застосування литих коліс замість штампованих;
3. Відсутність або неправильне виконання термообробки.

Спрацювання реборд ходових коліс може бути викликана перекосом конструкції крана в результаті нерівномірного навантаження на один з двигунів (в кранах з роздільним приводом) або неточністю укладання кранового шляху: наявністю поперечного ухилу і великих відхилень ширини колії від номінальних розмірів, а також не паралельною осей коліс.

Можливим рішенням проблеми є виготовлення конформного профілю колеса, який за умови відповідності геометрії колеса та рейки дозволить отримати більшу площа контакту, зменшити подальший знос та запобігти перекосу крана відносно поздовжньої осі рейкового шляху мостового крана.

Для зменшення тертя і зносу реборд ходових коліс і рейок також можуть бути використані ходові коліса з конічним ободом. Заміна циліндричних коліс конічними або біконічними доцільна оскільки при русі з перекосами реборди циліндричних ходових коліс постійно трутуться з рейками, що викликає інтенсивний знос коліс, а при руху ходових коліс з конічним ободом, забігання однієї сторони крана відносно іншої викликає кочення ходового колеса, яке відстає, по більшому діаметру і автоматично зменшує перекіс. В цьому випадку вирівнювання крана проходить без втручання реборд, що збільшує строк служби ходових коліс і зменшує опір пересування. Реборди в цьому випадку потрібні тільки для запобігання можливості сходу з рейок.

Проведений розрахунок методом кінцевих елементів (МКЕ) є комп'ютеризованим способом прогнозування реакції механізму чи деталі на реальні навантаження, вібрацію, тепло, потік рідини та інші фізичні дії. Ці дослідження показують, чи буде продукт зламаний, зношений або продовжить працювати за початковим сценарієм.

Дослідження виконані за допомогою програм Computer Aided Engineering (CAE) [3]. CAE це програмний пакет, призначений для вирішення різних інженерних завдань: розрахунку, аналізу і симуляції фізичних процесів і т.п. Для створення геометричної моделі досліджуваного об'єкта використовувалась програма CAD (Computer Aided Design). Генерування кінцево-елементної моделі проводили за допомогою генератора сітки Mesh generator. Завдання початкових і граничних умов, фізичних властивостей досліджуваного об'єкта і параметрів розрахунку проводили з використанням препроцесора Preprocessor, а проведення розрахунку - вирішувача Solver. За допомогою програмного продукту Autodesk Fusion360, був виконаний розрахунок статичних навантажень, що діють на різні види ходових коліс мостових кранів.

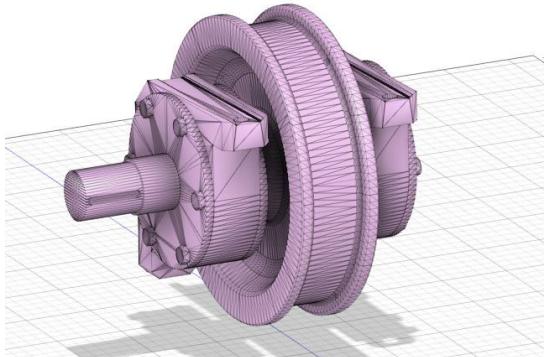


Рисунок 2 – Буксовий вузол в САЕ програмі

Були задані наступні початкові умови були:

1. Нижня основа рейки закріплюється в якості нерухомого елементу (структурного обмеження);
2. Допуск виявлення контакту дорівнює 0,1мм;
3. Матеріал колеса – Сталь65Г;
4. Статичне навантаження, що тисне на вал буксового вузла зверху вниз.

Навантаження прикладається до колеса, сполученого з рейкою, методом сполучення. Виходячи з суті проблеми, було прийняте рішення навантажити буксовий вузол спочатку з огляду на те, що вага зосереджена в середині головної балки, а потім близче до випробуваного вузла. Таким чином у другому випадку прикладаємо вагу в два рази більшу за першу.

Аналіз результатів розрахунків показав, що колеса на робочій поверхні мають різні плями контакту та різну величину напруження.

Циліндричне колесо має центрально-розміщену пляму контакту з максимальним еквівалентним напруженням 4,3 МПа, розташованим близче до центру в місцях початку та закінчення взаємодії з рейкою.

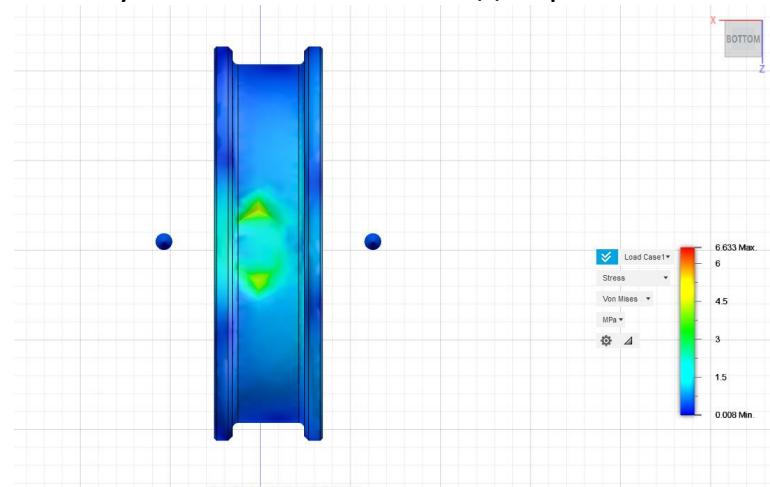


Рисунок 3 – Конічне колесо

Конічне колесо має пляму контакту зміщену відносно поздовжньої осі до сторони з більшим діаметром, та має там максимальне еквівалентне напруження 13,78 МПа.

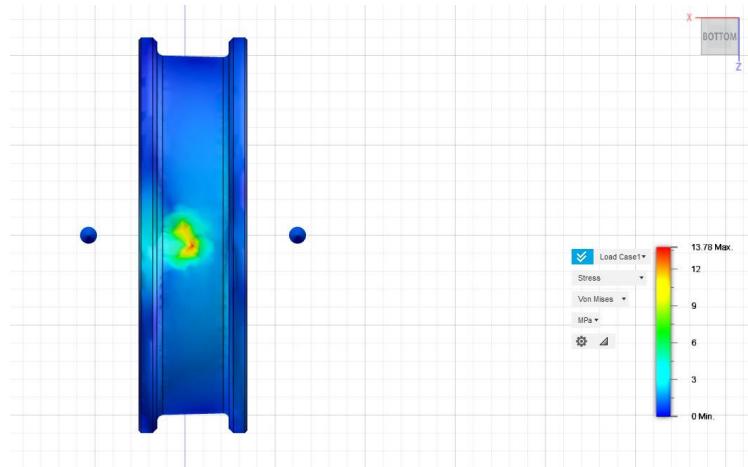


Рисунок 4 –Біконічне колесо

Біконічне колесо має пляму контакту з рейкою по середині кожного конуса, максимальне еквівалентне напруження дорівнює 3,8 МПа.

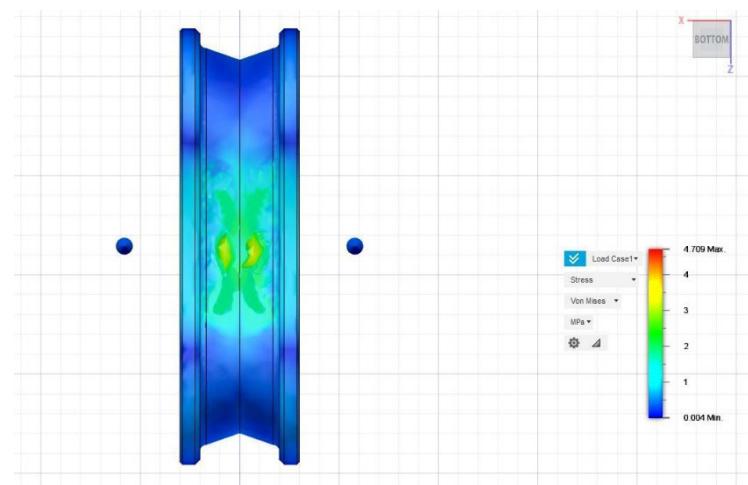


Рисунок 5 –Комформне колесо

Конформне колесо має пляму контакту подібну до циліндричного колеса, з максимальним еквівалентним напруженням 2,3 МПа, але в даному випадку воно розташоване не більше до центру, а розсіяне вздовж всієї площини, що дає більш рівномірну пляму контакту.

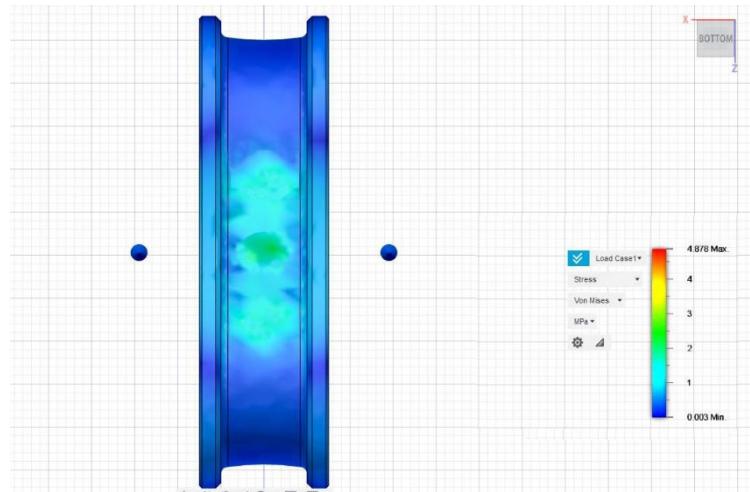


Рисунок 6 –Комфорне колесо

Таким чином, виходячи з аналізу МКЕ, саме застосування конформного профілю колеса серед інших є найбільш доцільним, оскільки воно має менше еквівалентне напруження на робочій поверхні та більш рівномірну пляму контакту.

Висновки. Проведені дослідження дозволили обґрунтувати вибір оптимальної конструкції ходових коліс мостового крана для зменшення зносу та збільшення строку експлуатації. Для вибору конструкції колеса на заміну циліндричного розглянуто наступні види коліс: конічне, біконічне та конформне. За допомогою методу кінцевих елементів був проведений порівняний аналіз конструкцій буксового вузла мостового крана з різними видами ходових коліс, який показав, що ходове колесо з конформним профілем за рахунок більшої кількості точок дотику з рейкою має менше напруження на робочій поверхні та більш рівномірну пляму контакту порівняно з іншими розглянутими конструкціями коліс. За рахунок цього саме застосування колеса з конформним профілем є найбільш доцільним.

ЛИТЕРАТУРА

1. Устройство и характеристики мостовых кранов общего назначения [Электрон. ресурс]: Справочник Строй-Техника.Ру. Строительные машины и оборудование. Устройство и характеристики мостовых кранов. – Режим доступа: <http://stroy-technics.ru/article/ustroistvo-i-kharakteristiki-mostovykh-kranov-obshchego-naznacheniya>.
2. Крани вантажопідймальні: ДСТУ 2986-95. – Чинний від 1996-01-01. – К. : Держстандарт України, 1996.
3. Боровков А.И. Компьютерный инжиниринг : учеб. пособие / А. И. Боровков [и др.]. – СПб. : Изд-во Политехн. ун-та, 2012. – 93 с.

УДК 622.74

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ РЕЗИНОВЫХ СИТ ДЛЯ СУХОЙ СЕПАРАЦИИ МЕЛКОЗЕРНИСТЫХ МАТЕРИАЛОВ

В.А. Федоскин¹, Н.Н. Ерисов², К.И. Корниленко³

¹кандидат технических наук, доцент кафедры автомобилей и автомобильного хозяйства, национальный технический университет "Днепровская политехника", Днепр, Украина, e-mail: fedoskin_va@ukr.net

²ассистент кафедры автомобилей и автомобильного хозяйства, национальный технический университет "Днепровская политехника", Днепр, Украина, e-mail: erisov@ukr.net

³аспирант кафедры автомобилей и автомобильного хозяйства, национальный технический университет "Днепровская политехника", Днепр, Украина, e-mail: kornilenko.k@gmail.com

Аннотация. Приведены результаты лабораторных испытаний по сухой сепарации абразивных материалов на грохоте с резиновыми ситами и сложной траекторией частицы. Обоснована перспективным применение резиновых сит при сухой сепарации мелкозернистых и порошковых материалов.

Ключевые слова: грохот, резиновое сито, эффективность грохочения.

PROSPECTS FOR APPLICATION OF RUBBER SITES FOR DRY SEPARATION OF FINE-GRAINED MATERIALS

V.A. Fedoskin¹, N.N. Erisov², K.I. Kornilenko³

¹Ph.D., Associate Professor of the Department of Automobiles and Motor Vehicles, Dnipro University of Technology, Dnipro, Ukraine, e-mail: fedoskin_va@ukr.net

²Assistant, Department of Automobiles and Automobile Economy, Dnipro University of Technology, Dnepr, Ukraine, e-mail: erisov@ukr.net

³post-graduate student of the Department of Automobiles and Motor Vehicles, Dnipro University of Technology, Dnepr, Ukraine, e-mail: kornilenko.k@gmail.com

Annotation. The results of laboratory tests on the dry separation of abrasive materials on a screen with rubber sieves and a complex particle path are presented. The use of rubber sieves for dry separation of fine-grained and powder materials is justified.

Keywords: screening, rubber sieve, screening efficiency.

Введение. Вибрационное грохочение является одним из основных способов выделения продукта требуемой крупности в общей цепи переработки полезных ископаемых. В настоящее время большое количество грохотов оснащаются резиновыми ситами, что значительно сокращает, в сравнении с металлической сеткой, износ рабочей поверхности. Резиновые сита

хорошо себя зарекомендовали при среднем и крупном грохочении [1]. Однако с уменьшением крупности требуемого класса материала уменьшается размер отверстия сита и его живое сечение. Это приводит к снижению эффективности грохочения, производительности грохота и нецелесообразность применения резиновых сит при сухом особо тонком грохочении.

Цель работы. На основании проведения лабораторных испытаний на грохоте при сложной траектории частицы оценить возможность применения резиновых сит для сухой сепарации порошковых материалов.

Материал и результат исследований. Исследования проводились на лабораторной установке (рисунок 1), включающей бункер исходного материала 1, вибролоток 2, шлюзовый питатель 3, вибротранспортёр 4, вибровозбудитель 5, ёмкость готового продукта 6.

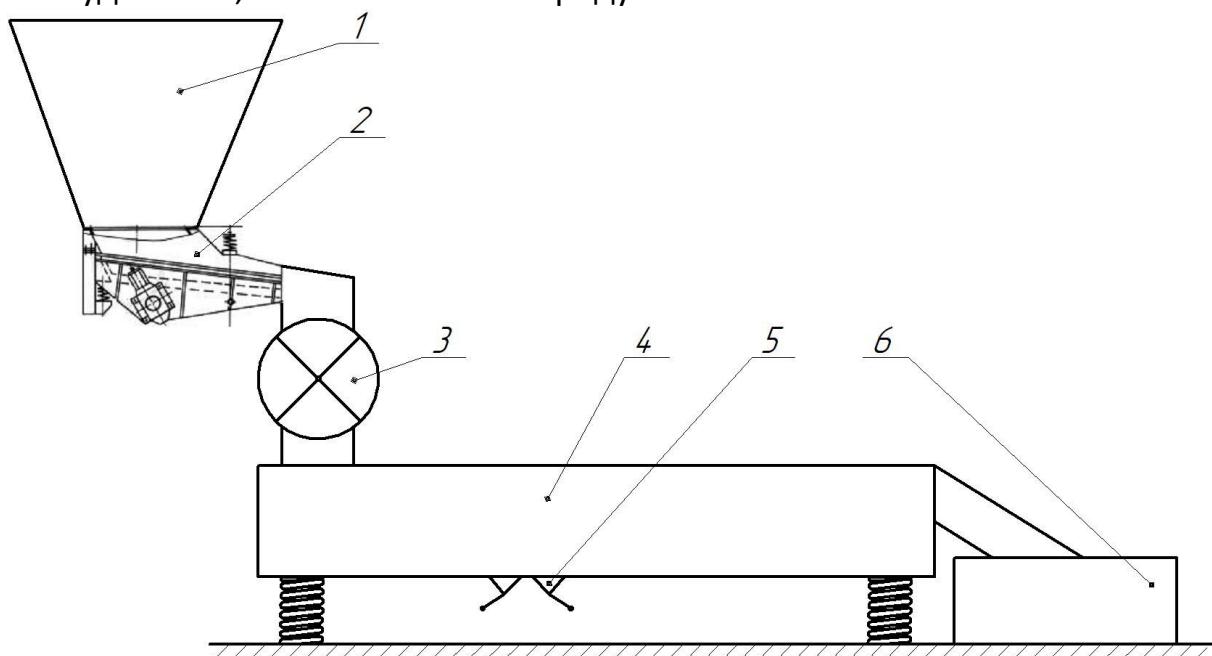


Рисунок 1 – Схема универсальной лабораторной установки

Лабораторная установка представляет собой универсальный стенд для проведения различного вида исследований. Для выполнения поставленной цели рабочая поверхность вибротранспортёра оснащена устройством крепления резиновых сит. Шлюзовый питатель выполняет функцию промежуточного звена, подающего от вибролотка исходный материал на сепарацию. Производительность установки регулируется частотой колебаний лотка, а возмущающая сила разворотом дебалансов.

Вибротранспортёр имеет следующие параметры:

Длина, мм	1000
-----------	------

Ширина, мм.	200
-------------	-----

Высота, мм	200
------------	-----

Угол наклона транспортирующей поверхности, град	±15
---	-----

Угол направления вектора возмущающей силы, град 10...80

Исследования проводились на щелевидных ситах с размером ячейки 0,4 x10 мм.

Грохочению подвергались материалы с гранулометрическим составом

Материал, мкм	0 - 200	200 - 250	250 - 315	315 - 400	+400
Песок, %	30	25	23	12	10
Шлифматериал, %	8	18	28	33	13

Результаты экспериментальных исследований оценивались по эффективности грохочения согласно формуле [2]

$$E = \frac{\gamma * \beta}{\alpha}, \%$$

где α , β - содержание нижнего класса в исходном материале и подрешетном продукте, %, γ – выход подрешётного продукта %.

Результаты исследований приведены на рисунке 2.

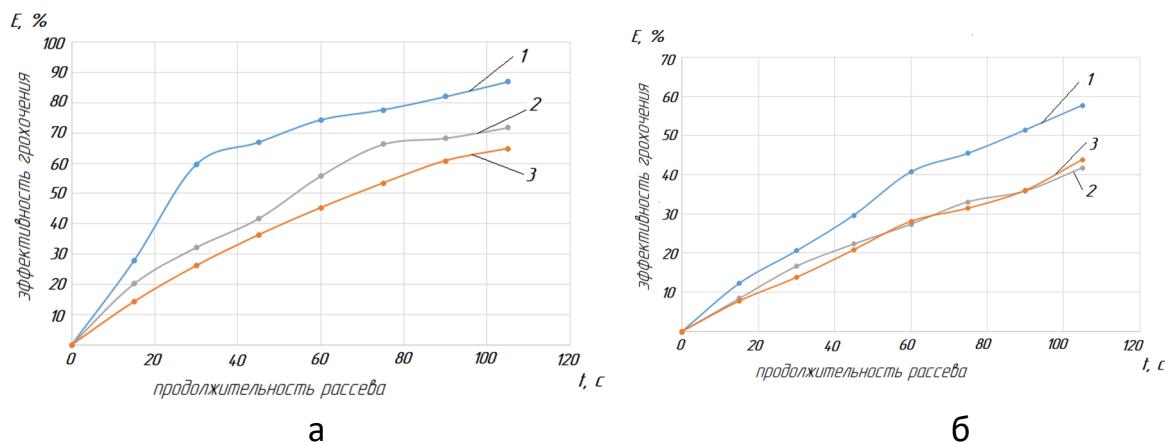


Рисунок 2 – Эффективность грохочения на резиновом сите материалов:

а – песок; б – шлифзерно;

1 – подача материала 7,2 кг/ч; 2 - подача материала 14,4 кг/ч; 3 - подача материала 28,8 кг/ч.

Из полученных графиков следует, что приданье движению материала сложной траектории позволяет получить эффективность грохочения 65...85% по песку и 45...55 % по шлифзерну при заданных условиях проведения эксперимента: частота колебаний вибротранспортера - 16 Гц, амплитуда – 5мм.

Выводы. Поиск новых форм и конструкторских решений для интенсификации технологического процесса взаимодействия транспортируемого исходного сырья с рабочей поверхностью грохота делают перспективным

применение резиновых сит при сухой сепарации мелкозернистых и порошковых материалов.

ЛІТЕРАТУРА

1. Звягильский Е.Л. Сухое, мелкое и тонкое грохочение влажных рядовых углей перед обогащением / Е.Л. Звягильский, П.Е. Филимонов, В.Л. Морус // Геотехнічна механіка: Міжвід. зб. наук. праць. — Дніпро: ІГТМ НАНУ, 2012. — Вип. 101. — С. 63-83.
2. Серго Е.Е. Дробление, измельчение и грохочение полезных ископаемых: Издательское объединение «Вища школа», 1975. - 240 с.

УДК 622.625.28

ТЯГОВА ЗДАТНІСТЬ ЛОКОМОТИВА З ІНДИВІДУАЛЬНИМ ТА ГРУПОВИМ ПРИВОДОМ

В.П. Франчук¹, К.А. Зіборов², О.М. Твердохліб³

¹доктор технічних наук, професор, професор кафедри інженерингу та дизайну в машинобудуванні, Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», м. Дніпро, Україна, e-mail: franchuk@nmu.one

²кандидат технічних наук, завідувач кафедри конструювання технічної естетики і дизайну, Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», м. Дніпро, Україна, e-mail: ziborov.k.a@nmu.one

³старший викладач кафедри конструювання технічної естетики і дизайну, Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», м. Дніпро, Україна

Анотація. Для математичної моделі шахтного локомотиву з індивідуальним та груповим приводом визначена максимальна тягова здатність при сталому русі на ділянці колії з урахуванням геометричної недосконалості його вихідних ланок. Отримано залежності для визначення сумарного тягового зусилля шахтного локомотиву з різними компонувальними схемами. Сформульовано рекомендації за величиною зносу (прокату) бандажів коліс колісних пар та заокруглення рейкової колії для реалізації сили тяги при заданій швидкості руху локомотива.

Ключові слова: шахтний локомотив, привід, математична модель, тягова здатність.

ENGINEERING OF CRANKSHAFT SUSPENSION SUPPORT OF REVOLVER TYPE

V.P. Franchuk¹, K.A. Ziborov², O.M. Tverdohleb³

¹Ph.D., Professor, Professor of Department of Engineering and Design in Mechanical Engineering, National Technical University "Dnipro Polytechnic", Dnipro, Ukraine, e-mail: franchuk@nmu.one

²Ph.D., Head of Department of Engineering and Generative Design, National Technical University "Dnipro Polytechnic", Dnipro, Ukraine, e-mail: ziborov.k.a@nmu.one

³senior teacher of Department of Engineering and Generative Design, National Technical University "Dnipro Polytechnic", Dnipro, Ukraine

Abstract. For the mathematical model of a mine locomotive with individual and group drive, the maximum traction ability at steady motion on the track section was determined taking into account the geometric imperfection of its output units. Dependencies were obtained to determine the total traction effort of a mine locomotive with different layout schemes. Recommendations for the amount of wear (hire) of wheel sets of wheelsets of wheelsets of wheels and rounding of the track are formulated for realization of thrust at given speed of locomotive movement.

Keywords: mine locomotive, drive, mathematical model, traction ability.

Вступ. На рудничних і шахтних локомотивах широко застосовують індивідуальний привід, коли на кожну рухому колісну пару передається крутний момент від окремого тягового двигуна, а також груповий, коли один двигун передає крутний момент на всі колісні пари візка [1, 2].

Протиріччя в питанні порівняльної оцінки ефективності тягових властивостей локомотивів з різною кількістю механічно пов'язаних колісних пар в приводі викликані, в тому числі, відсутністю єдиного показника, що характеризує як втрати енергії в приводі, так і використання зчіпний маси локомотива з урахуванням імовірного характеру природи зчеплення [3, 4].

Дати об'єктивну оцінку того чи іншого типу приводу можна тільки після порівняння їх характеристик і техніко-економічних показників, визначених за результатами аналітичних досліджень і натурних випробувань в експлуатації або на фізичних моделях максимально наближених до експлуатаційних режимів.

Мета роботи – розробити узагальнену математичну модель і визначити тягову здатність шахтного локомотиву з індивідуальним і груповим приводом.

Матеріали дослідження. Найважливішим параметром шахтного локомотива є тягова здатність. Вона залежить, крім стану умов контакту коліс з

рейками, також від швидкості руху локомотива, радіуса заокруглення рейкового шляху, нерівномірності зносу коліс (різниця в діаметрах кіл катання коліс).

Якісна залежність, яка відображає особливості фрикційного контакту пари колесо-рейка для шахтних умов експлуатації, описує умови взаємодії пари шахтного локомотива, що контактує (при швидкості руху рейкового екіпажу $V = 14$ км/год (приблизно 4 м/с) [4]. Аналітично ця залежність між силою тяги і нормальнюю реакцією має вигляд:

$$Q_x = Q_z \mu_0 \alpha_0 \frac{-\kappa}{\delta \kappa^2 V_0 + \beta \kappa + \lambda} , \quad (1)$$

де μ_0 – коефіцієнт тертя поверхонь кочення (в цьому випадку сталь по сталі); α_0 – коефіцієнт, що враховує вплив зовнішнього середовища; $\kappa = \frac{v}{V_0}$ – коефіцієнт відносного ковзання, відношення швидкості відносного ковзання контакуючих тіл (колесо-рейка) до швидкості переміщення точки контакту; δ, β, λ – коефіцієнти, що враховують тривалість контакту, спосіб прикладання навантаження, пружні характеристики матеріалу, величину і характер розподілу виступів шорсткості контакуючих поверхонь; $Q_z = mg$ – сила тяжіння локомотиву.

Для умов експлуатації (шахтні умови) наведені коефіцієнти мають наступні значення: $\mu_0 = 0.6$, $\alpha_0 = 0.4$, $\delta = 0.142$, $\beta = 0.962$, $\lambda = 1.42 \cdot 10^{-3}$.

Тягова здатність локомотива визначається як максимальна тягова здатність чотирьох коліс (двох колісних пар). Тягове зусилля локомотива, враховуючи (1), визначиться як:

$$Q_{\text{л}} = \sum_{i=1}^4 Q_{Z_i} \mu_0 \alpha_0 \frac{V_{t_i} - \omega_i R_{k_i}}{\delta(V_{t_i} - \omega_i R)^2 + \beta(V_{t_i} - \omega_i R) + \lambda V_{t_i}} , \quad (2)$$

де Q_{Z_i} – нормальнна складова реакції на кожному колесі; V_{t_i} – швидкість переміщення геометричній осі кожного колеса; ω_i – кутова швидкість i -го колеса; R_{k_i} – радіус i -го колеса.

У локомотивів з індивідуальним приводом кутова швидкість коліс, з'єднаних віссю, буде однакова, тобто:

$$\omega_1 = \omega_2 = \omega_{12}, \quad \omega_3 = \omega_4 = \omega_{34},$$

а у локомотивів з груповим приводом осі коліс 12 і 34 з'єднані карданним валом, тоді:

$$\omega_1 = \omega_2 = \omega_3 = \omega_4 = \omega_{14} .$$

Швидкість переміщення геометричній осі колеса при русі на заокругленні рейкового шляху визначиться з виразу:

$$V_{t_i} = V_0 \left(1 - \frac{b}{2R_0} \right),$$

де b – ширина колії локомотива; R_0 – радіус заокруглення рейкового шляху.

Кутова швидкість, при якій реалізується максимальна тягова здатність однієї пари коліс визначиться як:

$$\begin{aligned} \frac{\partial Q_{X_{12}}}{\partial \omega_{12}} &= Q_{Z_1} R_{k_1} [\delta(V_{t_1} - \omega_{12} R_{k_1})^2 + \beta(V_{t_1} - \omega_{12} R_{k_1}) + \lambda V_{t_1}] + \\ &+ Q_{Z_1} (V_{t_1} - \omega_{12} R_{k_1}) [-2\delta R_{k_1} (V_{t_1} - \omega_{12} R_{k_1}) - \beta R_{k_1}] + \\ &+ Q_{Z_2} R_{k_2} [\delta(V_{t_2} - \omega_{12} R_{k_2})^2 + \beta(V_{t_2} - \omega_{12} R_{k_2}) + \lambda V_{t_2}] + \\ &Q_{Z_2} (V_{t_2} - \omega_{12} R_{k_2}) [-2\delta R_{k_2} (V_{t_2} - \omega_{12} R_{k_2}) - \beta R_{k_2}] = 0 \end{aligned},$$

а другий пари (для локомотивів з індивідуальним приводом):

$$\begin{aligned} \frac{\partial Q_{X_{34}}}{\partial \omega_{34}} &= Q_{Z_3} R_{k_3} [\delta(V_{t_3} - \omega_{34} R_{k_3})^2 + \beta(V_{t_3} - \omega_{34} R_{k_3}) + \lambda V_{t_3}] + \\ &+ Q_{Z_3} (V_{t_3} - \omega_{34} R_{k_3}) [-2\delta R_{k_3} (V_{t_3} - \omega_{34} R_{k_3}) - \beta R_{k_3}] + \\ &+ Q_{Z_4} R_{k_4} [\delta(V_{t_4} - \omega_{34} R_{k_4})^2 + \beta(V_{t_4} - \omega_{34} R_{k_4}) + \lambda V_{t_4}] + \\ &Q_{Z_4} (V_{t_4} - \omega_{34} R_{k_4}) [-2\delta R_{k_4} (V_{t_4} - \omega_{34} R_{k_4}) - \beta R_{k_4}] = 0 \end{aligned}$$

З цих рівнянь визначаємо кутову швидкість першої і другої пари коліс:

$$\omega_{12} = \frac{-b_1 + \sqrt{b_1^2 - a_1 c_1}}{a_1}, \quad \omega_{34} = \frac{-b_2 + \sqrt{b_2^2 - a_2 c_2}}{a_2},$$

(тут перед радикалом взятий знак «+», знак «-» береться, коли колесо працює в гальмівному режимі).

Тут:

$$\begin{aligned} a_1 &= \delta(Q_{Z_1} R_{k_1}^3 + Q_{Z_2} R_{k_2}^3), \quad b_1 = -\delta(Q_{Z_1} V_{t_1} R_{k_1}^2 + Q_{Z_2} V_{t_2} R_{k_2}^2), \\ c_1 &= \delta(Q_{Z_1} R_{k_1} V_{t_1}^2 + Q_{Z_2} R_{k_2} V_{t_2}^2) - \lambda(Q_{Z_1} R_{k_1} V_{t_1} - Q_{Z_2} R_{k_2} V_{t_2}), \\ a_2 &= \delta(Q_{Z_3} R_{k_3}^3 + Q_{Z_4} R_{k_4}^3), \quad b_2 = -\delta(Q_{Z_3} V_{t_3} R_{k_3}^2 + Q_{Z_4} V_{t_4} R_{k_4}^2), \\ c_2 &= \delta(Q_{Z_3} R_{k_3} V_{t_3}^2 + Q_{Z_4} R_{k_4} V_{t_4}^2) - \lambda(Q_{Z_3} R_{k_3} V_{t_3} - Q_{Z_4} R_{k_4} V_{t_4}). \end{aligned}$$

Тягова здатність локомотива з індивідуальним приводом буде:

$$\begin{aligned}
 Q_{\text{L}_{\text{uho}}} = \mu_0 \alpha_0 [& Q_{Z_1} \frac{V_{t_1} - \omega_{12} R_{k_1}}{\delta(V_{t_1} - \omega_{12} R_{k_1})^2 + \beta(V_{t_1} - \omega_{12} R_{k_1}) + \lambda V_{t_1}} + \\
 & + Q_{Z_2} \frac{V_{t_2} - \omega_{12} R_{k_2}}{\delta(V_{t_2} - \omega_{12} R_{k_2})^2 + \beta(V_{t_2} - \omega_{12} R_{k_2}) + \lambda V_{t_2}} + \\
 & + Q_{Z_3} \frac{V_{t_3} - \omega_{34} R_{k_3}}{\delta(V_{t_3} - \omega_{34} R_{k_3})^2 + \beta(V_{t_3} - \omega_{34} R_{k_3}) + \lambda V_{t_3}} + \\
 & + Q_{Z_4} \frac{V_{t_4} - \omega_{34} R_{k_4}}{\delta(V_{t_4} - \omega_{34} R_{k_4})^2 + \beta(V_{t_4} - \omega_{34} R_{k_4}) + \lambda V_{t_4}]] \quad (3)
 \end{aligned}$$

Для локомотива з груповим приводом обидві осі матимуть однакову кутову швидкість, тоді аналогічні залежності запишуться як:

$$\omega_{14} = \frac{-b_{14} + \sqrt{b_{14}^2 - a_{14}c_{14}}}{a_{14}},$$

де:

$$\begin{aligned}
 a_{14} &= \delta(Q_{Z_1} R_{k_1}^3 + Q_{Z_2} R_{k_2}^3 + Q_{Z_3} R_{k_3}^3 + Q_{Z_4} R_{k_4}^3), \\
 b_{14} &= -\delta(Q_{Z_1} V_{t_1} R_{k_1}^2 + Q_{Z_2} V_{t_2} R_{k_2}^2 + Q_{Z_3} V_{t_3} R_{k_3}^2 + Q_{Z_4} V_{t_4} R_{k_4}^2), \\
 c_{14} &= \delta(Q_{Z_1} R_{k_1} V_{t_1}^2 + Q_{Z_2} R_{k_2} V_{t_2}^2 + Q_{Z_3} R_{k_3} V_{t_3}^2 + Q_{Z_4} R_{k_4} V_{t_4}^2) - \\
 &- \lambda(Q_{Z_1} R_{k_1} V_{t_1} - Q_{Z_2} R_{k_2} V_{t_2} + Q_{Z_3} R_{k_3} V_{t_3} - Q_{Z_4} R_{k_4} V_{t_4}).
 \end{aligned}$$

Тягова здатність локомотива з груповим приводом матиме значення:

$$\begin{aligned}
 Q_{\text{L}_{\text{epn}}} = \mu_0 \alpha_0 [& Q_{Z_1} \frac{V_{t_1} - \omega_{14} R_{k_1}}{\delta(V_{t_1} - \omega_{14} R_{k_1})^2 + \beta(V_{t_1} - \omega_{14} R_{k_1}) + \lambda V_{t_1}} + \\
 & + Q_{Z_2} \frac{V_{t_2} - \omega_{14} R_{k_2}}{\delta(V_{t_2} - \omega_{14} R_{k_2})^2 + \beta(V_{t_2} - \omega_{14} R_{k_2}) + \lambda V_{t_2}} + \\
 & + Q_{Z_3} \frac{V_{t_3} - \omega_{14} R_{k_3}}{\delta(V_{t_3} - \omega_{14} R_{k_3})^2 + \beta(V_{t_3} - \omega_{14} R_{k_3}) + \lambda V_{t_3}} + \\
 & + Q_{Z_4} \frac{V_{t_4} - \omega_{14} R_{k_4}}{\delta(V_{t_4} - \omega_{14} R_{k_4})^2 + \beta(V_{t_4} - \omega_{14} R_{k_4}) + \lambda V_{t_4}]]. \quad (4)
 \end{aligned}$$

Для шахтних умов в процесі взаємодії колеса і рейкового шляху кривизна обох дотичних поверхонь істотно спотворюється внаслідок зносу, і величина деформацій цих поверхонь безперервно змінюється, змінюючи ефективність реалізації сили тяги [4, 5].

Порівняльний аналіз графіків, що характеризують величину тягової здатності локомотива від ступеня зносу поверхні кочення коліс (рис. 1) показав, що різниця в даних для локомотивів з індивідуальним і груповим приводом невелика, навіть якщо ця різниця відноситься не до коліс однієї осі, а до різних.

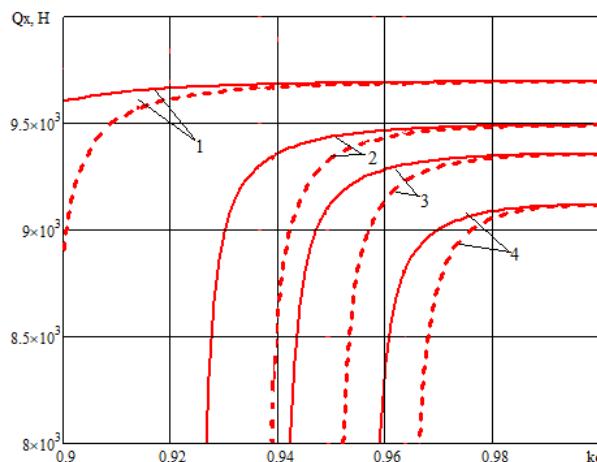


Рис. 1 - Тягова здатність локомотива при різниці в діаметрах коліс на різних осях: швидкість: 1 – 1 м/с; 2 – 3 м/с; 3 – 5 м/с; 4 – 10 м/с.

— — з індивідуальним приводом; ---- – з груповим приводом.

Внаслідок невеликих швидкостей руху на шахтних рейкових шляхах перевищення зовнішньої рейки на заокругленні зазвичай не робиться. Внаслідок цього рух на заокругленні пов'язано з появою доцентрових сил, що викликають нерівномірність навантажень на колеса, появі бічних сил і перекидаючого моменту, зміни тягової здатності коліс у зв'язку з різницею в швидкості руху їх осей і відносної швидкості переміщення поверхонь колеса і рейки.

Внаслідок цього на криволінійній ділянці шляху виникає доцентрове прискорення:

$$w_c = \frac{V^2}{R_0},$$

яка призводить до виникнення бічної сили:

$$Q_y = mw_c, \quad (5)$$

і перекидаючого моменту локомотива:

$$M_{opp} = mw_c h_c, \quad (6)$$

де m – маса локомотива; h_c – відстань від головки рейки до центра ваги локомотива.

Зміняться також і навантаження на колеса, які в (3) і (4) слід приймати:

$$Q_{Z_1} = \frac{Q_Z}{4} - \frac{M_{onp}}{4b}, Q_{Z_2} = \frac{Q_Z}{4} + \frac{M_{onp}}{4b}, Q_{Z_3} = \frac{Q_Z}{4} - \frac{M_{onp}}{4b},$$

$$Q_{Z_4} = \frac{Q_Z}{4} + \frac{M_{onp}}{4b}.$$

А також швидкості руху осей коліс:

$$V_{t_1} = V_{t_3} = \frac{V(R_0 + 0,5b)}{R_0}, V_{t_2} = V_{t_4} = \frac{V(R_0 - 0,5b)}{R_0}$$

На параметри руху локомотива на заокругленні, крім перерахованих факторів, істотно впливає ширина колії b і колісна база L . Існує для даних L і b також мінімальний радіус заокруглення, при якому локомотив перестане виконувати свої функції. Для локомотива 4КР-600 з $b = 600$ мм і $L = 1,15$ м при швидкості 4 м/с такий радіус заокруглення складе $Ro = 8,4$ м; при цьому інтенсивно втрачати тягову здатність він починає при $Ro < 20$ м (рис. 2).

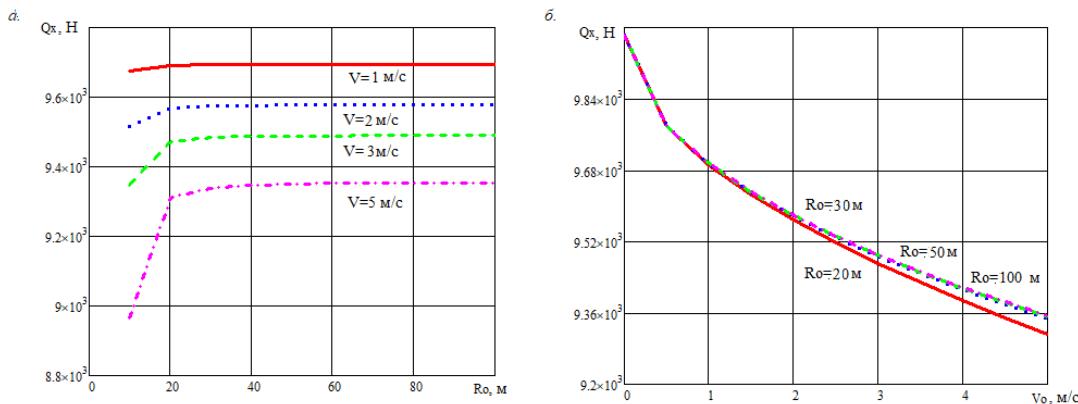


Рис. 2 – Залежність тягової здатності локомотива від радіуса заокруглення дороги при різних швидкостях руху (а) і від швидкості руху при різних радіусах заокруглення рейкового колеї (б)

Як випливає з графіків (рис. 2, а), при радіусі Ro заокруглення рейкової колеї більше 20 м тягова здатність локомотива стабілізується і не змінюється при постійній швидкості. Така ж картина спостерігається і на графіках (рис. 2, б): зі збільшенням швидкості Vo тягова здатність локомотива знижується, але від радіуса закруглення колії, якщо він більше мінімально допустимого, залежить дуже слабо.

Висновки. У роботі на основі теоретичних досліджень параметрів руху транспортного засобу по рейковому шляху сформульована узагальнена математична модель шахтного локомотиву з індивідуальним та груповим приводом. Отримано залежності для визначення сумарного тягового зусилля шахтного локомотиву з різними компонувальними схемами. Сформульовано рекомендації за величиною зносу (прокату) бандажів коліс колісних

пар та заокруглення рейкової колії для реалізації сили тяги при заданій швидкості руху локомотива.

ЛІТЕРАТУРА

1. Шахтарь П.С. Рудничные локомотивы. М.: Недра, 1982. – 296 с.
2. Волотковский С.А. Рудничная электровозная тяга. -М.: Недра, 1981. - 389 с.
3. Голубенко, А.Л. Сцепление колеса с рельсом / А.Л. Голубенко – 2-е изд. доп. и пер. – Луганск: Изд-во ВУГУ, 1999. – 476 с.
4. Франчук, В.П. Взаємодія тіл з рухомою точкою контакту / В.П. Франчук, К.А. Зіборов. – Дніпро: НГУ, 2017. – 96 с. – Режим доступу: <http://www.nmu.org.ua>.
5. Зиборов, К.А. К вопросу износа бандажей колесных пар шахтных локомотивов при различных компоновочных схемах привода / К.А. Зиборов, О.В. Дерюгин, И.Н. Мацюк // Разработка рудных месторождений. – 2008. – вып. 92. – С. 137–140.

УДК 539.3/6

СИЛОВОЙ РАСЧЁТ ПЛОСКИХ ФЕРМ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ УПРОЩЁННОЙ ДВУМЕРНОЙ МОДЕЛИ ВЫНУЖДЕННЫХ КОЛЕБАНИЙ

Ю.С. Холодняк¹, С.В. Капорович², Е.Д. Коротенко³

¹ к.т.н., доцент, зав. кафедрой технической механики, e-mail: holodhjak.yuri@gmail.com

² к.т.н., ст.преподаватель кафедры технической механики, e-mail: kaporovych@gmail.com

³ к.ф.н., доцент, зав. кафедрой языковой подготовки, e-mail: yevgendif@gmail.com

^{1, 2, 3} Донбасская государственная машиностроительная академия, г. Краматорск, Украина

Аннотация. Разработана упрощенная двухмерная математическая модель вынужденных колебаний плоских ферм, которая описывает колебания невесомого фермы с точечной массой при одновременном действии на них вертикальной и горизонтальной гармонических возмущающих сил. Также получены зависимости для вычисления резонансных частот колебательной системы.

Ключевые слова: плоские фермы, вынужденные колебания, математическая модель, резонансные частоты, силовые расчеты.

FORCE CALCULATION OF FLAT TRUSSES USING A SIMPLIFIED TWO-DIMENSIONAL MODEL OF FORCED OSCILLATIONS

Yuri Kholodniak¹, Svitlana Kaporovych², Yevgen Korotenko³

¹Ph.D., Associate Professor, Head of Technical Mechanics Department, e-mail: holodnijak.juri@gmail.com

²Ph.D., Senior Lecturer of Technical Mechanics Department, e-mail: kaporovych@gmail.com

³Ph.D., Associate Professor, Head of Language Training Department, e-mail:
yevgendif@gmail.com

^{1,2,3} Donbass State Engineering Academy, Kramatorsk, Ukraine

Abstract. A simplified two-dimensional mathematical model of forced oscillations of flat trusses has been developed, which describes the oscillations of a weightless truss with a point mass while simultaneously acting on them with vertical and horizontal harmonic disturbing forces. Dependences for calculating the resonant frequencies of an oscillating system are also obtained.

Keywords: plane trusses, forced oscillations, mathematical model, resonant frequencies, power calculations.

Введение. Научно-технический прогресс требует от проектантов применения всё более совершенных расчётных методов, касающихся прочности и энергосиловых параметров создаваемых изделий. Наиболее актуальны такие требования для конструкций, которые пребывают под действием переменных во времени загрузок.

В промышленности широко распространены стержневые конструкции – балки, плоские рамы и фермы, которые эксплуатируются в условиях вынужденных колебаний, возникающих в результате действия так называемых возмущающих сил. Наиболее часто источником этих сил является работа различного оборудования, установленного на стержневых конструкциях, – насосов, прессов, копров и т.п. Возмущающие силы возникают в результате движения центра масс такого оборудования и имеют периодический, часто гармонический характер.

В конструкциях, находящихся в условиях вынужденных колебаний, возникают дополнительные (динамические) усилия и напряжения, которые в ряде случаев достигают значительных величин. Отсюда – важность адекватного их учета в силовых расчетах названных конструкций.

В учебно-методической литературе по сопротивлению материалов анализируются, как правило, вынужденные колебания невесомой балки с закреплённой на ней точечной массой [1-3]. Такая (упрощённая) модель колеблющейся системы является одномерной. Она, несмотря на свою простоту, дает обычно приемлемую для практики точность силовых расчётов. Наряду с ней в университетских курсах сопротивления материалов и строительной механики предлагаются также более сложные одномерные модели, в которых кроме точечной массы учитываются и масса балки [4-6]. Однако предлагаемые при этом методики расчёта для широкого практического применения достаточно сложны, поскольку требуют углублённой математической подготовки, обычно выходящей за рамки учебных планов высших инженерных учебных заведений.

Вынужденные колебания плоских рам и ферм рассматриваются, как правило, в университетских курсах строительной механики [7-13]. При этом используются сложные двумерные модели, также неприемлемые для широкого практического применения. Для этого нужны более простые методики расчета, не требующие специальной математической подготовки, но обеспечивающие при этом приемлемую для практики точность.

Именно такая двумерная модель вынужденных колебаний была создана авторами применительно к расчётам на прочность плоских рам [14-15].

В этой модели колеблющейся массой и источником колебаний является электрический двигатель со статически несбалансированным ротором, но возможны и другие варианты.

Очевидно, что применение созданной модели не ограничивается только рамами. Эта модель является универсальной и принципиально приемлема к любой из колеблющихся систем с точечной массой и невесомым упругим элементом, которая имеет две степени свободы.

Цель работы. Целью данной работы является приспособление указанной модели к силовым расчётам плоских ферм, находящихся в условиях вынужденных колебаний.

Материал и результаты исследований. Главным отличием ферм от рам является то, что стержни в фермах соединены между собой в так называемых узлах с помощью шарниров, а в рамках – жесткими креплениями, в результате чего стержни ферм работают на растяжение-сжатие, тогда как стержни рам (если не принимать во внимание продольных сил) находятся в условиях плоского изгиба.

Поэтому показатели жёсткости ферм в отличие от рам, в которых эти показатели зависят преимущественно от изгибающих моментов, определяются через продольные силы N .

К отличиям ферм следует отнести также возможность появления в сжатых стержнях продольной изгиба, то есть потери устойчивости, которая неизбежно делает конструкцию непригодной к дальнейшей эксплуатации.

Для определения показателей жесткости ферм используются зависимости, вытекающие из правила Верещагина для эпюр продольных сил [16]:

$$\left\{ \begin{array}{l} \delta_{11} = \frac{1}{E \cdot F} \cdot \sum_{i=1}^n \bar{N}_i^2 \cdot \ell_i; \\ \delta_{22} = \frac{1}{E \cdot F} \cdot \sum_{i=1}^n (\bar{N}'_i)^2 \cdot \ell_i; \\ \delta_{12} = \delta_{21} = \frac{1}{E \cdot F} \cdot \sum_{i=1}^n \bar{N}_i \cdot \bar{N}'_i \cdot \ell_i, \end{array} \right. \quad (1)$$

где i – номер стержня; n – количество стержней в ферме; \bar{N}_i – усилие в i -том стержне от действия вертикальной единичной силы, приложенной к ферме в месте расположения колеблющейся массы; \bar{N}'_i – усилие в i -том стержне от действия горизонтальной единичной силы, приложенной в том же месте; ℓ_i – длина i -того стержня; E – модуль упругости материала стержней; F – площадь сечения стержней фермы.

Обратим внимание на то, что здесь и далее рассматриваются фермы, которые расположены в вертикальной плоскости и имеют одинаковые форму и размеры поперечных сечений всех стержней.

Для определения значений \bar{N}_i и \bar{N}'_i следует предварительно рассчитать опорные реакции фермы, а затем применить к ней метод вырезания узлов или метод сечений, предложенный Риттером [7].

Определив таким образом указанную пару усилий в каждом из стержней и проанализировав комбинации их значений, необходимо выявить стержни, которые являются потенциально опасными с точки зрения прочности и устойчивости при сжатии. Именно на них следует обратить внимание на соответствующих этапах силовых расчётов.

Специфику и детали проверочных и проектных расчетов плоских ферм на прочность и устойчивость с использованием упрощённой двумерной модели вынужденных колебаний проиллюстрируем следующими примерами.

Пример 1. Пренебрегая сопротивлением среды, проверить на прочность, устойчивость и резонанс плоскую ферму (рис. 1), изготовленную из труб наружным диаметром $d = 100$ мм и толщиной стенки $s = 5$ мм. Материал труб - сталь Ст.3, $[\sigma] = 160$ МПа. Масса установленного на ферме статически несбалансированного электродвигателя $m = 2000$ кг, круговая частота его вращения $\omega = 31,4 \text{ с}^{-1}$ (300 оборотов в минуту), модуль создаваемой им возмущающей силы $H = 0,3mg$.

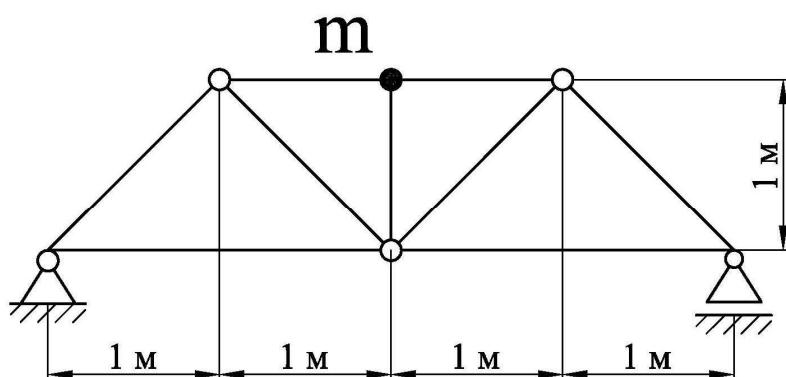


Рисунок 1 – Схема фермы

Решение

1. Обозначаем на схеме фермы номера стержней и узловые точки, определяем длины стержней: $\ell_1 = \ell_6 = 2 \text{ м}$, $\ell_2 = \ell_3 = \ell_7 = \ell_8 = 1,41 \text{ м}$, $\ell_4 = \ell_5 = \ell_9 = 1 \text{ м}$ (рис. 2).

2. Прикладываем к ферме в месте расположения двигателя (узел D) вертикальную единичную силу $P_1 = 1$ и определяем от неё реакции фермы R_A и R_B (см. рис. 2).

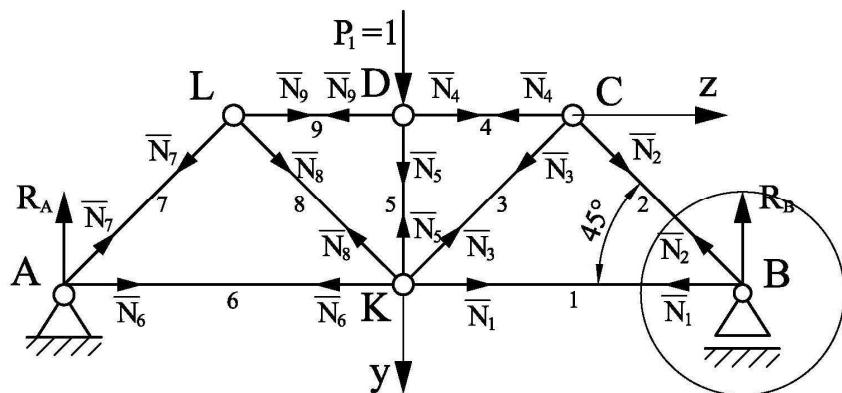


Рисунок 2 – Схема к определению усилий в стержнях фермы от единичной силы $P_1 = 1$

$$\begin{cases} \sum M_A = -P_1 \cdot 2 + R_B \cdot 4 = 0; & R_B = \frac{P_1 \cdot 2}{4} = \frac{1 \cdot 2}{4} = 0,5; \\ \sum M_B = P_1 \cdot 2 - R_A \cdot 4 = 0; & R_A = \frac{P_1 \cdot 2}{4} = \frac{1 \cdot 2}{4} = 0,5. \end{cases}$$

Проверка: $\sum P_y = P_1 - R_A - R_B = 1 - 0,5 - 0,5 = 0$. Реакции найдены верно.

3. Для определения усилий в стержнях фермы используем метод вырезания узлов. Начинаем с узла B, в котором приложены два неизвестных усилия \bar{N}_1 и \bar{N}_2 . Для него:

$$\begin{cases} \sum P_y = -R_B - \bar{N}_2 \cdot \sin 45^\circ = 0; & \bar{N}_2 = -\frac{R_B}{\sin 45^\circ} = -\frac{0,5}{0,71} = -0,71; \\ \sum P_z = -\bar{N}_1 - \bar{N}_2 \cdot \cos 45^\circ = 0; & \bar{N}_1 = -\bar{N}_2 \cdot \cos 45^\circ = 0,71 \cdot 0,71 = +0,5. \end{cases}$$

Знаки \bar{N}_1 и \bar{N}_2 указывают на то, что стержень 1 является растянутым, а стержень 2 – сжатым.

4. Последовательно переходим к узлам C, D, L, A и аналогично определяем все остальные усилия: $\bar{N}_3 = +0,71$; $\bar{N}_4 = -1$; $\bar{N}_5 = +1$; $\bar{N}_9 = -1$; $\bar{N}_8 = +0,71$; $\bar{N}_7 = -0,71$; $\bar{N}_6 = +0,5$.

5. Для проверки рассмотрим равновесие узла K:

$$\begin{cases} \sum P_y = \bar{N}_5 - \bar{N}_3 \cdot \sin 45^\circ - \bar{N}_8 \cdot \sin 45^\circ = 1 - 0,71 \cdot 0,71 - 0,71 \cdot 0,71 = \\ = 1 - 0,5 - 0,5 = 0; \\ \sum P_z = \bar{N}_1 - \bar{N}_6 + \bar{N}_3 \cdot \cos 45^\circ - \bar{N}_8 \cdot \cos 45^\circ = 0,5 - 0,5 + 0,71 \cdot 0,71 - 0,71 \cdot 0,71 = \\ = 0,5 - 0,5 + 0,5 - 0,5 = 0. \end{cases}$$

Усилия во всех стержнях найдены верно.

6. Прикладываем к ферме в месте расположения двигателя (узел D) горизонтальную единичную силу $P_2 = 1$ и аналогичным путём определяем от неё реакции фермы и усилия в её стержнях (рис. 3).

В этот раз имеем: $y_A = 0,25$; $z_A = 1$; $R_B = 0,25$; $\bar{N}'_1 = +0,25$; $\bar{N}'_2 = -0,35$; $\bar{N}'_3 = +0,35$; $\bar{N}'_4 = -0,5$; $\bar{N}'_5 = 0$; $\bar{N}'_6 = +0,5$; $\bar{N}'_7 = -0,35$; $\bar{N}'_8 = +0,35$; $\bar{N}'_9 = +0,75$.

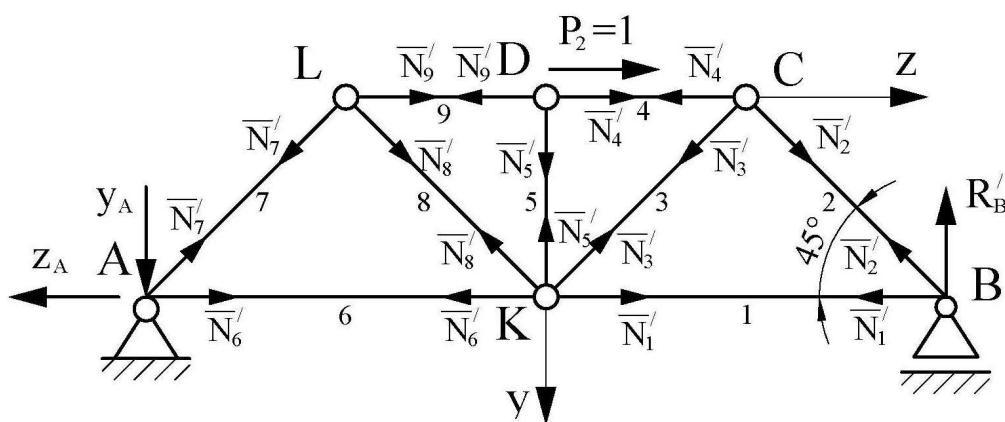


Рисунок 3 – Схема к определению усилий фермы от единичной силы $P_2 = 1$

7. Полученные значения внутренних усилий вносим в таблицу 1 и определяем показатели жёсткости фермы.

Таблица 1 – Определение показателей жёсткости фермы

Номер стержня	\bar{N}_i	\bar{N}'_i	$\ell_i, \text{м}$	$(\bar{N}_i)^2 \cdot \ell_i, \text{м}$	$(\bar{N}'_i)^2 \cdot \ell_i, \text{м}$	$\bar{N}_i \cdot \bar{N}'_i \cdot \ell_i, \text{м}$
1	+0,5	+0,25	2	0,5	0,125	0,25
2	-0,71	-0,35	1,41	0,711	0,173	0,35
3	+0,71	+0,35	1,41	0,711	0,173	0,35
4	-1	-0,5	1	1	0,25	0,5
5	-1	0	1	1	0	0
6	+0,5	+0,75	2	0,5	1,25	0,75
7	-0,71	+0,35	1,41	0,711	0,173	-0,35

8	+0,71	-0,35	1,41	0,711	0,173	-0,35
9	-1	+0,5	1	1	0,25	-0,5
				$\Sigma = 6,844$	$\Sigma = 2,442$	$\Sigma = 1$
				$\delta_{11} = \frac{6,844}{E \cdot F}$	$\delta_{22} = \frac{2,442}{E \cdot F}$	$\delta_{12} = \delta_{21} = \frac{1}{E \cdot F}$

Из таблицы 1 видно, что значение δ_{12} является положительным. Это свидетельствует о том, что направления единичной силы $P_2 = 1$ и оси z выбраны верно [14].

8. Анализируя полученные данные (см. табл.1), видим, что наибольшие по модулю усилия при работе двигателя будут иметь место в стержне 4, который и является опасным с точки зрения прочности. Закон изменения этих усилий:

$$N_4(t) = \bar{N}_4 \cdot P_1(t) + \bar{N}'_4 \cdot P_2(t) = -1 \cdot P_1(t) - 0,5 \cdot P_2(t), \quad (2)$$

где $P_1(t)$ и $P_2(t)$ – законы изменения сил P_1 и P_2 , которые в неявном виде определяет компьютер.

9. Полученные данные (см. табл.1) указывают на то, что потенциально опасными с точки зрения потери устойчивости являются стержень 4, у которого самые большие по модулю сжимающие усилия, и стержень 2, у которого сжимающие усилия несколько меньше, а длина больше.

Закон изменения усилий в стержне 2:

$$N_4(t) = \bar{N}_4 \cdot P_1(t) + \bar{N}'_4 \cdot P_2(t) = -1 \cdot P_1(t) - 0,5 \cdot P_2(t), \quad (3)$$

10. Определяем площадь поперечных сечений стержней фермы:

$$F = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot \left[1 - \left(1 - 2 \cdot \frac{s}{d} \right)^2 \right]. \quad (4)$$

$$F = \frac{3,14 \cdot 0,1^2}{4} \cdot \left[1 - \left(1 - 2 \cdot \frac{0,005}{0,1} \right)^2 \right] = 1,49 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2.$$

11. Вводим в расчетную программу [14] выражения для показателей жесткости фермы (см. табл.1), закон изменения усилий, значение F и получаем для стержня 4:

$$\sigma_{\min} = -2,24 \cdot 10^7 \text{ Па} = -22,4 \text{ МПа}, \omega_1 = 145,24 \text{ с}^{-1}, \omega_2 = 258,751 \text{ с}^{-1}.$$

Аналогично для стержня 2:

$$\sigma_{\min} = -1,589 \cdot 10^7 \text{ Па} = -15,89 \text{ МПа}, \omega_1 = 145,27 \text{ с}^{-1}, \omega_2 = 258,751 \text{ с}^{-1}.$$

12. Проверяем стержень 4 на выполнение условия прочности:

$$|\sigma_{\min}| \leq [\sigma] \quad (5)$$

В нашем случае $|\sigma_{\min}| = 22,4 \text{ МПа} < [\sigma]$, поэтому прочность стержня 4 и фермы в целом обеспечены.

13. Определяем гибкость сжатых стержней:

$$\lambda = \frac{\mu \cdot \ell}{i_{\min}}, \quad (6)$$

где μ – коэффициент приведения длины стержня; ℓ – длина стержня; i_{\min} – минимальный радиус инерции сечения стержня.

Поскольку в фермах крепления концов стержней шарнирные, $\mu = 1$ [1, с. 488]. Сечение стержней – кольцевое, поэтому:

$$i_{\min} = i_x = i_y = i_{oc.}; \quad i_{oc.} = \sqrt{\frac{J_{oc.}}{F}}; \quad J_{oc.} = \frac{\pi \cdot d^4}{64} \cdot \left[1 - \left(1 - 2 \cdot \frac{s}{d} \right)^4 \right]. \quad (7)$$

С учётом (7):

$$J_{oc.} = \frac{3,14 \cdot 0,1^4}{64} \cdot \left[1 - \left(1 - 2 \cdot \frac{0,005}{0,1} \right)^4 \right] = 1,687 \cdot 10^{-6} \text{ м}^4;$$

$$i_{oc.} = \sqrt{\frac{1,687 \cdot 10^{-6}}{1,49 \cdot 10^{-3}}} = 0,034 \text{ м.}$$

Тогда для стержней 4 и 2 соответственно имеем:

$$\lambda = \frac{1 \cdot 1}{0,034} = 29,4; \quad \lambda = \frac{1 \cdot 1,41}{0,034} = 41,5.$$

14. Проверяем стержни 4 и 2 на устойчивость.

Условие устойчивости имеет вид [1]:

$$|\sigma_{\min}| \leq \varphi \cdot [\sigma], \quad (8)$$

где φ – коэффициент уменьшения основного допускаемого напряжения, который зависит от гибкости стержня λ .

В соответствующей таблице [1, с. 493] находим для стержня 4: $\varphi = 0,941$, для стержня 2: $\varphi = 0,916$. Тогда допускаемые напряжения на устойчивость стержней 4 и 2 соответственно будут равны:

$$\varphi \cdot [\sigma] = 0,941 \cdot 160 = 150,56 \text{ МПа},$$

$$\varphi \cdot [\sigma] = 0,916 \cdot 160 = 146,56 \text{ МПа}.$$

Сравнивая значения $|\sigma_{\min}|$ у стержней 4 и 2 с допускаемыми на устойчивость, видим, что условие устойчивости этих стержней и фермы в целом выполняется.

15. Проверяем ферму на резонанс.

Резонанс возникает вследствие совпадения круговой частоты возмущающей силы и резонансных частот конструкции: $\omega = \omega_1$, или $\omega = \omega_2$. В нашем случае $\omega = 31,4 \text{ с}^{-1}$, $\omega_1 = 145,27 \text{ с}^{-1}$, $\omega_2 = 258,751 \text{ с}^{-1}$, поэтому резонанс отсутствует.

Существует точка зрения [1 и др.], что для надёжного предотвращения резонанса величина ω должна быть минимум на 30% меньше величины ω_1 :

$$\omega \leq 0,7\omega_1. \quad (9)$$

Проверим это условие.

В нашем случае: $0,7\omega_1 = 0,7 \cdot 145,27 = 101,689 \text{ с}^{-1}$, что больше ω . Поэтому и это условие выполняется. Проверка этого условия относительно ω_2 не имеет смысла, поскольку $\omega_2 > \omega_1$.

Таким образом, все условия задачи выполнены.

В завершение сравним полученные результаты с опубликованными в сборнике [16], где приведен пример подобного расчёта той же фермы с использованием одномерной модели, учитывающей только вертикальные колебания. В том примере резонансная частота составляет $46,577 \text{ с}^{-1}$, а наибольшие по модулю сжимающие напряжения в стержне 4 составляют 20,4 МПа.

Как видим, одномерная модель значительно занижает результаты вычислений, особенно в части определения резонансных частот.

Вывод. Разработано усовершенствованную методику силовых расчётов плоских ферм на основе ранее созданной и реализованной в системе Mathcad упрощённой двумерной модели вынужденных колебаний, которая существенно повышает точность и надёжность определения динамических усилий и напряжений, а также резонансных частот конструкции по сравнению с распространённой на практике одномерной моделью, учитывающей только вертикальные колебания, игнорируя горизонтальные.

Разработанная методика позволяет определять максимальные динамические усилия и напряжения в колеблющейся ферме, рассчитывать её резонансные частоты, проверять выполнение условий прочности и устойчивости, подбирать необходимые размеры поперечного сечения стержней для обеспечения указанных условий.

Методика проиллюстрирована примерами проверочного и проектного расчётов и может быть рекомендована студентам и производственным специалистам для использования в учебных целях и инженерной практике.

В дальнейшем целесообразно создать сквозную компьютерную программу, которая бы охватывала все этапы расчета по разработанной методике и тем самым максимально упрощала и ускоряла его.

ЛИТЕРАТУРА

1. Дарков А. В. Сопротивление материалов: Учеб. для техн. вузов / А. В. Дарков, Г. С. Шпиро. – М.: Высш. шк., 1989. – 624 с.
2. Икрин В.А. Сопротивление материалов с элементами теории упругости и пластичности / В.А. Икрин. – М.: Изд. АСВ, 2004. – 424 с.
3. Гресь П.В. Руководство к решению задач по сопротивлению материалов: Учеб. пособие для ВУЗов / П.В. Гресь. – М.: Высш. шк., 2004. – 135 с.
4. Писаренко Г. С. Опір матеріалів: Підр. для техн. ВНЗ / Г. С. Писаренко, О. Л. Квітка, Е. С. Уманський. – К.: Вища шк., 2004. – 655 с.
5. Шевченко Ф. Л. Курс опору матеріалів. Порада до вивчення теорії та розв'язання задач: Навч. посібник / Ф. Л. Шевченко. – Донецьк: ДонНТУ, 2013. – 260 с.
6. Purushothama Rai. P. Strength of Materials / P.Rai. Purushothama, V.Ramasamy. – Pearson India, 2012. – 1039 р.
7. Поляков А. А. Строительная механика: Учеб. пособие / А. А. Поляков, Ф. Г. Лялина, Р. Г. Игнатов. – Екатеринбург: УрФУ, 2014. – 424 с.
8. Olsson K.- G. Structural Mechanics: Modelling and Analysis of Frames and Trusses / K.- G. Olsson, O. Dahlblom. – John Wiley & Sons, 2016. – 344 р.
9. Lacarbonara W. Nonlinear Structural Mechanics: Theory, Dynamical / W. Lacarbonara. – Springer Science & Business Media, 2013. – 802 р.
10. Carpinteri A. Structural Mechanics Fundamentals / A.Carpinteri. – CRC Press, 2013. – 512 р.
11. Carpenter A. Advanced Structural Mechanics / A. Carpenter. – CRC Press, 2017. – 531 р.
12. Ламси Б. Б. Сборник задач и упражнений по динамике стержневых систем: Учеб. пособие / Б. Б. Ламси и др. – Н.Новгород: ННГАСУ, 2016. – 96 с.
13. Уфимцев Е.М. Моделирование нелинейных колебаний плоских ферм при нестационарных процесах на основе метода временного анализа / Е.М. Уфимцев. – Челябинск: Вестник ЮУрГУ, серия “Строительство и архитектура”, 2017, № 1, С. 20 – 33.
14. Холодняк Ю. С. Упрощённая методика силового расчёта плоских рам в условиях вынужденных колебаний / Ю. С. Холодняк, С. В. Подлесный, С. В. Капорович. // Вісник Донбаської державної машинобудівної академії: Збірник наукових праць. – Краматорськ: ДДМА, 2018. – № 1(43). – С.198 –213.
15. Kholodniak Yu.S. Elaboration of a Methodology of Power Calculations of Flat Frames Under Conditions of Forced Oscillations / Yu.S. Kholodniak, S.V. Kaporovych, Ye.D. Korotenko // Contemporary Innovation Technique of Engineering Personnel Training for the Mining and Transport Industry 2019 (CITEPTMTI'2019). Conference Proceedings (2019). – Ukraine, Dnipro: NTUDP. – P. 92–100.
16. Кутовий Л. В. Збірник розрахунково-графічних завдань з курсу "Опір матеріалів" (для студентів всіх механічних спеціальностей денної форми навчання) / Л. В. Кутовий та ін. – Краматорськ: ДДМА, 2007. – 220 с.

УДК 621.833

ПРО СТВОРЕННЯ ПОЛЕГШЕНИХ КОНСТРУКЦІЙ ЗАКРИТИХ ЗУБЧАСТИХ ПЕРЕДАЧ

С.В. Шатов¹, І.Н. Мацюк², Е.М. Шляхов³

¹доктор технічних наук, професор кафедри будівельних і дорожніх машин, Придніпровська державна академія будівництва та архітектури, м Дніпро, Україна,
e-mail: shatov.sv@ukr.net

²кандидат технічних наук, доцент кафедри конструювання, технічної естетики і дизайну, Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», м Дніпро, Україна

³доцент кафедри конструювання, технічної естетики і дизайну, Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», м Дніпро, Україна,

^{2,3}e-mail: shlyahove@nmu.org.ua

Анотація. В роботі викладено результати дослідження зменшення маси одноступінчастого зубчастого циліндричного редуктора за рахунок оптимізації конструкції його корпусу.

Ключові слова: закрита механічна передача, зубчастий редуктор, зменшення маси, оптимізація конструкції.

THE CREATION OF LIGHTWEIGHT DESIGNS OF CLOSED GEARS

S.V. Shatov¹, I.M. Matsyk², E.M. Shlyakhov³

¹Ph.D., professor, Department of Construction and Road Machines, Pridneprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture, Dnipro, Ukraine, E-mail: shatov.sv@ukr.net

²Ph.D., Associate professor, Department of Engineering and Generative Design, Dnipro University of Technology, Dnipro, Ukraine, E-mail:

³Associate professor, Department of Engineering and Generative Design, Dnipro University of Technology, Dnipro, Ukraine

^{2,3}e-mail: shlyahove@nmu.org.ua

Abstract. The article presents the results of the study of reducing the mass of a single-stage gear cylindrical gearbox by optimizing the design of its frame.

Keywords: closed mechanical transmission, gear reducer, weight reduction, design optimization.

Вступ. Ефективне використання різних матеріалів в процесі виробництва різноманітних видів промислової продукції є одним з найважливіших способів заощадження природних ресурсів [1].

Економія металу при конструюванні машини відбувається за рахунок зменшення маси її деталей та відходів сировини, впровадження економічних профілів і видів матеріалів, застосування неметалевих конструкційних

матеріалів. Одним з напрямків реалізації цього є вдосконалення методів розрахунку та пошук оптимальних конструктивних рішень з використанням комп’ютерних програм [2].

На зниження металоємності, а отже, маси машин та обладнання впливає спрощення кінематичної схеми, поліпшення компонування конструкцій, вибір габаритів машин і конструктивної форми деталей, оптимізація запасів міцності.

Зменшення металоємності продукції є актуальним, як для окремого підприємства, так і для всієї машинобудівної галузі. Оскільки матеріальні витрати займають більшу частку витрат виробництва, зменшення витрат матеріальних ресурсів призводить до зниження собівартості продукції та до поліпшення показників ефективності діяльності підприємства. Економії металу сприяє застосування нових конструкційних матеріалів, зокрема, пластмас, полімерів і композитів. Останні мають велику достатню міцність, підвищену корозійну стійкість, твердість.

Більшість машин приводиться у дію двигуном через механічну трансмісію, в якості якої найбільшого поширення набула закрита зубчаста передача (редуктори, коробки швидкостей тощо).

У даній роботі розглядаються можливі шляхи зниження металоємності механічних передач на прикладі зубчастого циліндричного одноступінчастого редуктора.

Мета роботи. Проаналізувати можливість зниження маси закритої механічної передачі на прикладі одноступінчастого зубчастого циліндричного редуктора за рахунок оптимізації його корпусу.

Матеріал і результати роботи. Головним параметром одноступінчастого редуктора, як відомо, є міжосьова відстань зубчастих коліс [3]. Маса редуктора суттєво залежить від величини головного параметра. На рисунку 1 зображена залежність маси редуктора від величини міжосьової відстані для редукторів серії 1ЦУ, що випускаються ТОВ «Redmash», для яких маса редуктора в діапазоні $L = 100 \dots 250$ мм змінюється практично лінійно від 25 до 250 кг.

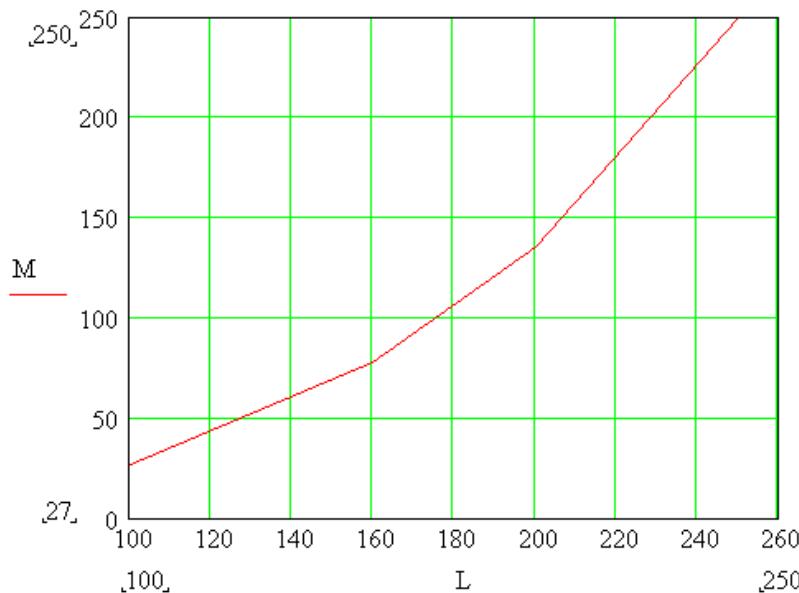


Рис. 1. – Залежність маси одноступінчастого циліндричного редуктора М (кг) від величини міжосьової відстані L (мм)

Зменшення металоємності редукторів такого типу можливо у трьох напрямках:

- зниження маси корпусних деталей з урахуванням того, що не всі їх ділянки сприймають силове навантаження;
- виготовлення зубчастих коліс з неметалів;
- заміна підшипників кочення на підшипники ковзання з неметалів.

Під корпусними розуміють деталі, основне призначення яких – це встановлення робочих органів і вузлів різних приводів, деталей і складальних одиниць, а також забезпечення герметичності і безпеки експлуатації.

Корпус редуктора є його базовою деталлю, габаритні розміри якої визначаються: видом передавальних механізмів, що становлять редуктор; числом, розмірами і відносним розташуванням деталей цих механізмів у внутрішній порожнині корпуса; прийнятої системи змащування зачеплень зубчастих коліс редуктора і його підшипникових вузлів. Корпусні деталі найбільш металоємні - на їх частку припадає до 80% всієї маси виробу. Вони сприймають навантаження, що діють в редукторі, і передають їх на підредукторну плиту або раму, а також відводять в навколошнє середовище теплоту, що утворюється при роботі редуктора. Основними критеріями надійності корпусних деталей є міцність, жорсткість, зносостійкість і довговічність.

У сучасному виробництві редукторів випускаються два типи корпусів – роз'ємні і нероз'ємні. Конструкція роз'ємного корпусу включає основу корпуса і знімну кришку.

У зв'язку з тим, що корпуси редукторів - малонавантажені деталі, розміри їх елементів (товщина стінок, припливів тощо) визначає не міцність, а жорсткість, необхідна для забезпечення працевздатності кінематичних пар редуктора (зубчатих зачеплень, підшипників тощо). Необхідну жорсткість досягають оптимізацією форми і розмірів елементів корпусу, а також за рахунок раціонального розміщення ребер жорсткості.

В результаті дослідження побудовано тривимірну модель одноступінчастого редуктору потужністю 2,2 кВт, яку за допомогою програми Autodesk Fusion 360 дослідили на міцність і жорсткість. Малонавантажені ділянки основи корпусу було видалено і отримали конструкцію, що показана на рисунку 2.

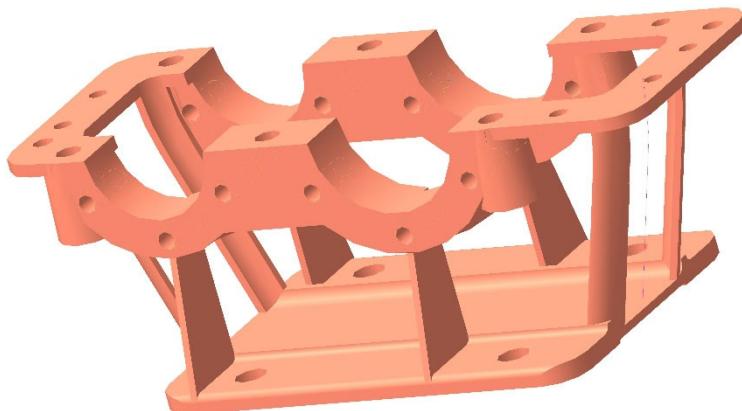


Рис. 2. – Варіант полегшеної основи корпусу одноступінчастого редуктора

Таким чином, не змінюючи елементів основи корпусу, що забезпечують його жорсткість, зменшена його маса видаленням ненавантажених ділянок. Видалений метал може бути замінений легким неметалевим матеріалом.

Аналогічно зменшується маса знімної кришки.

Виготовлення таких корпусних деталей раціонально робити на 3D-принтерах.

Аналіз показав, що загальне зменшення маси дослідженого редуктора за рахунок полегшення основи корпусу з кришкою складає 18%. Цей відсоток для більш потужних редукторів буде збільшуватися.

Подальшим продовженнем роботи в цьому напрямку слід вважати використання додатка генеративного дизайну, наприклад, в продукті Autodesk Fusion 360.

Висновки.

1. Перспективним напрямом зменшення металоємності машин, зокрема корпусних деталей закритих механічних передач, є вдосконалення методів їх розрахунку та пошук оптимальних конструктивних рішень.

2. Побудовано тривимірну модель одноступінчастого редуктору потужністю 2,2 кВт та визначені малонавантажені ділянки корпусу, які замінені неметалевим матеріалом, що забезпечило зменшення його маси на 18%.

ЛІТЕРАТУРА

1. Жикаляк М. В. Виснаження ефективних запасів корисних копалин – загроза національній безпеці України / Мінеральні ресурси України. № 3, 2016, С. 3-7.
2. Учебные материалы по Autodesk Inventor Fusion 2012. - Текст: электронный. - URL: <http://labs.autodesk.com/>
3. Павлище В.Т. Основи конструювання та розрахунок деталей машин: Підручник для студ. вузів. – Львів.: Вища шк., 2003. 560 с.

УДК 622.625.28

УДОСКОНАЛЕННЯ ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГІЧНОЇ СХЕМИ ПЕРЕВЕЗЕННЯ МЕТАЛОПРОКАТУ (НА ПРИКЛАДІ МЕТАЛУРГІЙНОГО ПІДПРИЄМСТВА МК «АЗОВСТАЛЬ»)

С.І. Чеберячко¹, О.В. Дерюгін², В.А. Доценко³

¹доктор технічних наук, професор кафедри охорони праці та цивільної безпеки, Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», м. Дніпро, Україна, e-mail: sicheb@ukr.net

²кандидат технічних наук, доцент кафедри управління на транспорті, Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», м. Дніпро, Україна, e-mail: oleg.kot@meta.ua

³студентка групи 275-19 ск-1, Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», м. Дніпро, Україна, e-mail: viktoriadocenko0@gmail.com

Анотація. В роботі обґрунтовано удосконалення транспортно-технологічної схеми перевезення металопрокату (слябів) за рахунок впровадження ефективної «роудлейнерної» технології.

Ключові слова: промисловий транспорт, залізничний транспорт, автомобільний транспорт, роудлейнерна технологія, експлуатаційні властивості, економічна ефективність, строк окупності.

IMPROVEMENT OF THE TRANSPORT AND TECHNOLOGICAL SCHEME OF TRANSPORT OF METAL PRODUCTS (ON THE EXAMPLE OF THE METALLURGICAL ENTERPRISE 'MK AZOVSTAL')

Serhiy Cheberyachko¹, Oleg Deryugin², Viktoriya Dotsenko³

¹Ph.D., Professor of Department of Labour Protection and Civil Safety, Dnipro University of Technology, Dnipro, Ukraine; e-mail: sicheb@ukr.net

²Ph.D., Associate professor of Department of Transportation Management, Dnipro University of Technology, Dnipro, Ukraine, e-mail: oleg.kot@meta.ua

³Student, National Technical University "Dnipro poly-technology", Dnipro, Ukraine, e-mail: viktoriadocenko0@gmail.com

Abstract. Improvement of transport-technological scheme of transportation of rolled metal (slabs) at the expense of introduction of effective "roadrailner" technology is substantiated in the work.

Keywords: *industrial transport, railway transport, road transport, roadrailner technology, operational properties, economic efficiency, payback period.*

Вступ. Промисловий транспорт - основна транспортна зв'язуючи ланка на сучасному металургійному підприємстві. Основним видом промислового транспорту - є залізничний, який має переваги над іншими видами. Він є не-відмінною складовою майже всіх технологічних процесів металургійного виробництва готової продукції [1]. Серед основних переваг залізничного транспорту можна віднести наступні:

- велика провізна здатність;
- незалежність від погодних умов;
- можливість швидкої доставки вантажу на значні відстані;
- умовно висока швидкість перевезення вантажу і ін. [2].

Але цей вид транспорту має і недоліки, зокрема суттєвою - низька спроможність доставки безпосередньо до пунктів споживання, тобто при відсутності під'їзних шляхів залізничний транспорт повинен доповнюватися автомобільним.

В останній час, на металургійних підприємствах країн Євросоюзу, прослідується тенденція використання в якості промислового транспорту - автомобільний. Його лідеруюча позиція стає очевидною завдяки перевагам, серед яких можна відзначити наступні:

- висока маневреність, що дозволяють швидко зосередити транспортні засоби в необхідній кількості і в потрібному місці;
- здатність забезпечувати доставку "від дверей до дверей" без додаткових перевалок і пересадок на шляху прямування;
- висока швидкість доставки і забезпечення схоронності вантажів, особливо при перевезеннях на короткі відстані;
- широка сфера застосування за видами вантажів, системам повідомлення й відстаней перевезення [2].

Отже, виникає задача у поєднанні цих двох видів транспорту, розробки ефективних логістичних схем їх роботи. В якості прикладу, наведемо вирішення задачі з удосконалення існуючої транспортно-технологічної схеми

доставки металопрокату на металургійному підприємстві «МК «Азовсталь»», які були встановлені під час кейс-чемпіонату від компанії «МЕТИНВЕСТ»:

- залежність транспортування слябів залізничним транспортом на основну залізничну станцію від розкладу руху поїздів, які транспортують вантажі по основної залізничної магістралі;
- великий час маневрових перестановок порожніх залізничних платформ під навантажувальні операції.

Це призводить до зниження показників виробництва, фінансовим збиткам в наслідку затримки відвантаження готової продукції, збільшенню часу на транспортування та ін. Тому пошук способів вирішення подібних задач є досить актуальним в наш час.

Мета роботи.

Метою дослідження – є удосконалення транспортно-технологічної системи перевезення металопрокату (сялбів) за рахунок ефективної транспортної технології.

Об'єкт дослідження – процес транспортування металопрокату.

Предмет дослідження – технологія перевезення металопрокату.

Вирішення задачі, яка формує мету дослідження проведено за алгоритмом, який використовують студенти для виконання практичних завдань на підставі компетенцій, які отримані за результатами навчання за нормативними дисциплінами – «Загальний курс транспорту», «Експлуатаційні властивості автотранспортних засобів», «Прикладна механіка»:

- обґрунтування ефективної взаємодії різних видів транспорту;
- обґрунтування ефективного транспортного засобу (ТЗ) і напівпричепу для перевезення слябів, розрахунок розподілу вагових навантажень на вісі ТЗ для визначення відповідності чинному законодавству України, яке регламентує перевезення великогабаритного і великовантажного вантажу (ВiВB);
- оцінка економічних показників ефективності від впровадження запропонованої транспортної технології;
- розрахунок строку окупності інвестиційних вкладень в придбання ТЗ.

Матеріали і результати дослідження.

Для вирішення поставленої задачі, авторами запропонована транспортна «Роудрейнерна» (*Roadrailner*) технологія. Вона ефективно використовується в країнах Північної і Південної Америки при перевезені великовантажних контейнерів. В її основі - трансформація автомобільного напівпричепа в залізничну платформу. Запропонована транспортна технологія поєднує переваги залізничного і автомобільного транспорту. Впровадження цієї тех-

нології зменшить залежність транспортування слябів від розкладу руху поїздів, час маневрових операцій при проведенні навантажувально-розвантажувальних робіт (НРР), що є актуальним для металургійного підприємства.

Запропонована транспортна система (рис. 1) дозволяє транспортувати сляби як автомобільним транспортом так і залізничним.

До її переваг, можна віднести:

- можливість навантаження 5-ти слябів (загальна вага вантажу 150 тонн). В існуючої транспортно-технологічній схемі навантаження проводиться за нормативом – 1 сляб завантажується на 1 залізничну платформу.
- усунення проміжних НРР;
- скорочення простою на станціях, в портах, на розвантажувальних майданчиках.
- підвищення схоронності вантажів;
- можливість доставки вантажу безпосередньо до отримувача метало-прокату;
- підвищення ступеня мобільності і маневрування.

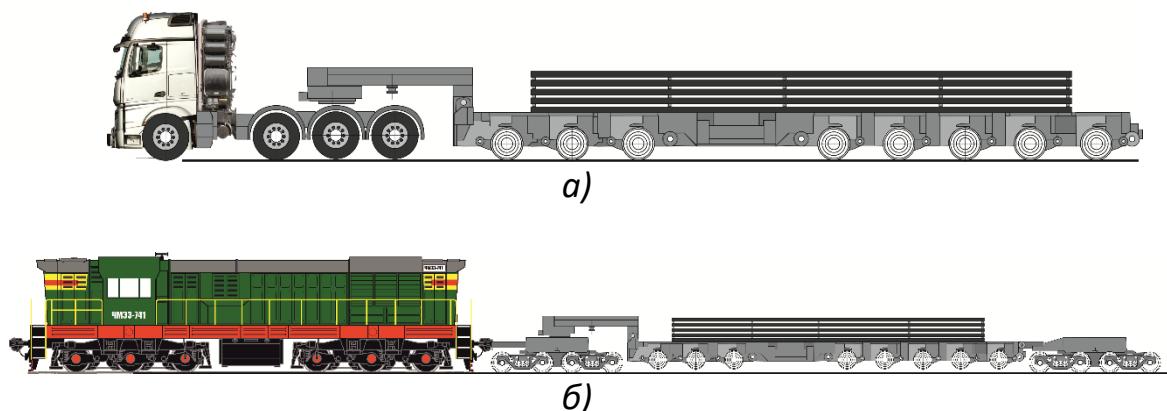
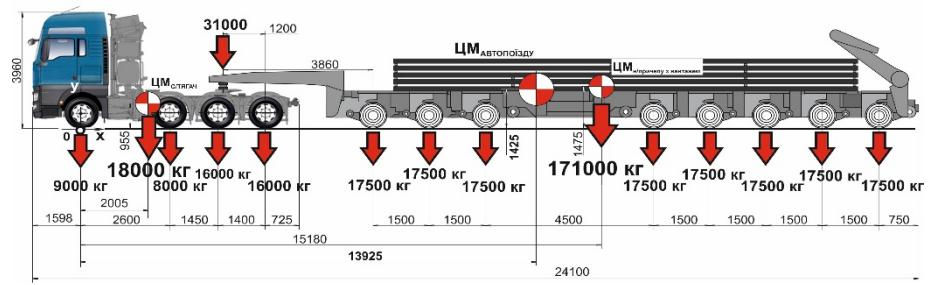


Рисунок 1 – Концепція перевезення слябів за допомогою «Роудлейнерної» технології: а) – автомобільним транспортом; б) – залізничним транспортом.

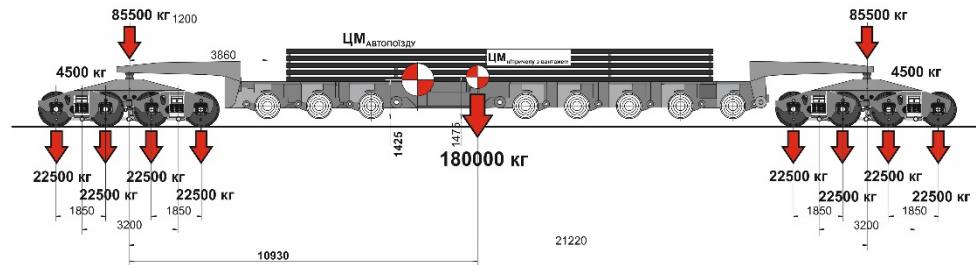
Для визначення відповідності експлуатації нормам чинного законодавства України, які регламентують перевезення ВiВВ автомобільним і залізничним транспортом, проведено розрахунок вагового навантаження на вісь відповідного ТЗ. Результати розрахунку розподілу вагових навантажень на відповідні вісі для автомобільного і залізничного транспорту наведено на рис. 2.

Відповідність перевезення металопрокату (слябів) автомобільним транспортом чинному законодавству України, щодо перевезення ВiВВ



a)

Відповідність перевезення металопрокату (слябів) залізничним транспортом чинному законодавству України, щодо перевезення ВiВВ



б)

Рисунок 2 – Результати розрахунку розподілу вагових навантажень на відповідні вісі ТЗ автомобільного і залізничного транспорту: а) – автомобільний транспорт; б) – залізничний транспорт.

Визначення ефективного ТЗ для перевезення слябів у складі автопотягу (сідельний тягач з тралом) проводиться на підставі розрахунку еквівалентної потужності сідельного тягача, для транспортування тралу з вантажем – 5 слябів (загальна вага вантажу 150 тонн) проводимо за наступною формулою [3, 4]:

$$N_e = \frac{1}{3,6\eta_{mp}} \cdot \left(G_{a/n} \cdot \psi \cdot v_{max} + \frac{k_b \cdot F_a \cdot v_{max}^3}{12,96} \right) \cdot 10^{-3}, \quad (1)$$

де η_{mp} – ККД трансмісії сідельного тягача, $\eta_{mp} = 0,97$;

$G_{a/n}$ – вага автопотягу, тонн, $G_{a/n} = 150$ тонн;

ψ - сумарний коефіцієнт опору дороги, $\psi = 0,3$;

V_{max} - максимальна швидкість руху автопоїзду, з врахуванням умов перевезення відповідного типу вантажу, км/год, $V_{max} = 11$ км/год.;

K_b - коефіцієнт обтікання, Hc^2/m^4 , $K_b = 0,8$;

F_a - площа габаритного поперечного (міделевого) перерізу автопотягу, м^2 :

$$F_a = a \cdot b \cdot h, \quad (2)$$

де a - коефіцієнт заповнення площини ($a = 0,75 \dots 0,9$ - для вантажних автомобілів, сідельних тягачів);

b і h - ширина й висота автопотягу, відповідно, вибирається по прототипу.

У подальшому за величиною еквівалентної потужності, оцінюють подолання різноманітних видів опору, які виникають при русі автопоїзду зі слябами, загальна вага вантажу – 150 тонн – $N_{\theta} = 467 \text{ кВт} \approx 635 \text{ кс}$. Отже потужність двигуна сідельного тягача повинна бути більшою в 1,1 рази $= 635 \times 1,1 = 698 \text{ кс}$.

З модельного ряду сідельних тягачів обираємо модель баластного сідельного тягача MAN TGX 41.680 8x6 BBS. Технічна характеристика сідельного тягача наведена в [5]. В якості напівпричепу обираємо – низькопідлоговий трал для перевезення BiBB, модель – Goldhofer (vantажопідйомність 160 тонн). Технічна характеристика трала для перевезення BiBB наведена в [6].

Для трансформації напівпричепу тралу в залізничну платформу використовуються - 2 залізничних 4-х вісних візка - моделі 18-100. Технічна характеристика залізничних 4-х вісних візків моделі 18-100 наведена в [7].

Економічний ефект від впровадження запропонованої транспортної технології розраховується за наступною формулою:

$$C_e = (S \cdot Q_n^{nl} - (\Delta S + S) \cdot Q_n^\phi) \cdot A_{cn}, \quad (3)$$

де A_{cn} – списочний парк автопоїздів;

S – запланована собівартість перевезень;

Q_n^{nl} , Q_n^ϕ , - відповідно запланована і фактична продуктивність одного автопоїзду, тонн/рік:

$$Q_n^{nl} = q \cdot \gamma_c^{nl} \cdot n_e \cdot T_{\partial n}^p \cdot \alpha_T^{nl}, \quad (4)$$

де q – вантажопідйомність автопоїзду;

γ_c^{nl} – планований коефіцієнт використання вантажопідйомності;

α_T^{nl} – планований коефіцієнт технічної готовності парку;

$T_{\partial n}^p$ – календарна кількість днів в році;

n_e – кількість їздок автопоїздів за добу.

$$Q_n^\phi = q \cdot \gamma_c^\phi \cdot n_e \cdot T_{\partial H}^p \cdot \alpha_T^\phi, \quad (5)$$

де γ_c^ϕ – фактичний коефіцієнт використання вантажопідйомності;

α_T^ϕ – фактичний коефіцієнт технічної готовності парку;

ΔS – збільшення собівартості транспортування від зниження коефіцієнта технічної готовності парку рухомого складу, грн./тонну.

В результаті проведеного розрахунку, отримано значення економічних показників ефективності від впровадження запропонованої транспортної технології - 10587 млн. грн.

Розрахунок періоду окупності інвестиційного проекту $T_{ок} = n$, при якому:

$$\sum_{i=1}^n CF_t > I_o \quad (6)$$

де $T_{ок}$ (PP) – період окупності інвестицій, рік;

n - число періодів;

CF_t - потік грошових коштів за період t , грн.;

I_o - величина вихідних інвестицій у нульовий період.

Таблиця 1 – Результат розрахунку періоду окупності інвестиційного проекту при покупці сідельного тягача MAN TGX 41.680 8x6 BBS та одного напівпричіпа-трака марки Goldhofer з урахуванням первісної вартості ТЗ

Тип ТЗ	Кл-сть, од.	Ціна, грн.	n - число періодів, рік	$T_{ок}$ (PP) – період окупності інвестицій, рік
MAN TGX 41.680 8x6 BBS				
MAN TGX 41.680 8x6 BBS, грн.	1	7870000		
Goldhofer, грн.	1	1500000		
MAN TGX 41.680 8x6 BBS +Goldhofer	1+1	9080000	5	2,92

Формула для розрахунку показника NPV (чистої теперішньої вартості) с урахуванням бар'єрної ставки має наступний вигляд:

$$NPV = \sum_{t=1}^n \frac{CF_t}{(1+r)^t} - \sum_{t=0}^n \frac{I_t}{(1+r)^t}, \quad (7)$$

де NPV - чиста теперішня вартість, грн.;
 CF_t – потік грошових коштів в період t , грн.;
 I_t - сума інвестицій (витрати) в t -ому періоді, грн.;
 r – бар'єрна ставка (дисконтування);
 n - сумарне число періодів (інтервалів, шагів) $t = 1, 2, \dots, n$ (або час дії інвестицій).

Індекс прибутковості інвестицій можна розрахувати за наступною формулою:

$$PI = \frac{\sum_{t=1}^n \frac{CF_t}{(1+r)^t}}{CI} = \frac{PV}{CI}, \quad (8)$$

де CF_i - прибуток від проекту за рік, грн.;
 n - період проекту в роках;
 PV - сумарний грошовий потік від проекту, грн.;
 CI - сума первісних інвестицій, грн.;
 r - ставка дисконтування.

Внутрішня норма прибутковості визначається за наступною формулою:

$$NVP(IRR) = \sum_{i=1}^n \frac{CF_t}{(1+IRR)^t} - \sum_{i=0}^n \frac{I_t}{(1+IRR)^t} = 0 \quad (9)$$

$NPV(IRR)$ - чиста теперішня вартість розрахована за ставкою IRR ;
 CF_t - притік грошових коштів у період t ;
 I_t - сума інвестицій (витрати) в t -ому періоді;
 n - сумарне число періодів (інтервалів, шагів) $t = 0, 1, 2, \dots, n$.

За результатами проведеного розрахунку, отримано значення строку окупності інвестиційних вкладень в придбання ТЗ для запропонованої транспортної технології, яка склала – 1,3 року.

Висновки.

1. Промисловий транспорт основна транспортна зв'язуюча ланка на сучасному металургійному підприємстві.

2. Запропонована транспортна «Роудлейнерна» технологія перевезення слябів, яка базується на трансформації автомобільного напівпричепа в залізничну платформу. Вона поєднує переваги залізничного і автомобільного транспорту і її впровадження в транспортно-технологічну схему доставки слябів зменшить її залежність від розкладу руху поїздів, час маневрових операцій при проведенні НРР, що є актуальним для металургійного підприємства.

3. З модельного ряду сідельних тягачів обрано модель – баластний сідельний тягач MAN TGX 41.680 8x6 BBS. В якості напівпричепу обирають – трал для перевезення слябів, модель – Goldhofer (вантажопідйомність 160 тонн). Для трансформації напівпричепу тралу в залізничну платформу використовуються - 2 залізничних 4-х вісних візка - моделі 18-100.

4. За результатами розрахунку ефективності від впровадження запропонованої транспортної технології отримано значення економічної ефективності, яка склала - 10587 млн. грн.

5. За результатами розрахунку строку окупності інвестиційних вкладень в придбання ТЗ, які використовуються в запропонованій транспортній технології отримано значення строку окупності ТЗ, який склав – 1,3 роки.

ЛІТЕРАТУРА

1. Бобиль В. Вплив металургійної промисловості на розвиток залізничного транспорту в сучасних умовах / В.В. Бобиль, Т.М. Бєлікова // Матеріали V Міжнародної науково-практичної конференції «Проблеми економіки і управління на залізничному транспорті», м. Яремча, 2010 рік, С. 14-15.
2. Л.Ю. Яцківський, Д.В. Зеркалов Загальний курс транспорту. Книга 1. Навчальний посібник К.: Арістей, 2007. - 544 с.
3. Вахламов В.К. Техника автомобильного транспорта: Подвижной состав и эксплуатационные свойства: Учебное пособие для студентов высших учебных заведений. – М.: Академия, 2004. - 528 с.
4. Солтус А.П. Теорія експлуатаційних властивостей автомобіля: Навчальний посібник. - Київ: Арістей, 2006. - 176 с.
5. Сайт: Dalnoboi.org. MAN TGX 41.680: восемь на шесть для 250 тонн. [Електронний ресурс]. 2016. Режим доступу: <http://dalnoboi.org/blog/2016/08/09/man-tgx-41-680-vosem-na-shest-dlya-250-tonn/>.
6. Бовкунов, М.Е. Перевозка негабаритных и тяжеловесных грузов / М.Е. Бовкунов, О.К. Шоломицкий // Молодёжь и наука: Сборник материалов VIII Всероссийской научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых учёных, посвященной 155-летию со дня рождения К. Э. Циолковского [Электронный ресурс]. — Красноярск: Сибирский федеральный ун-т, 2012. — Режим доступа: <http://conf.sfu-kras.ru/sites/mn2012/section35.html>, свободный.
7. Савчук О.М. Вагонний парк. Навчальний посібник для студентів та магістрів ВНЗ залізничного транспорту.- Харків.: ТехноСтандарт, 2010.- 200 с.

УДК 629.10.1

СЕРТИФИКАЦІЯ АВТОМОБІЛЬНОГО ТРАНСПОРТА

К.М. Бас¹, В.В. Кривда²

¹кандидат технических наук, профессор кафедры автомобилей и автомобильного хозяйства, Национальный технический университет «Днепровская политехника», г. Днепр, Украина, e-mail: bas.k.m@nmu.one

²кандидат технических наук, доцент кафедры автомобилей и автомобильного хозяйства, Национальный технический университет «Днепровская политехника», г. Днепр, Украина, e-mail: vitaliy.krivda@gmail.com

Аннотация. В работе проведено теоретический анализ состояния сертификации на автотранспорте, и стандартизации, также проводится анализ нормативной базы метрологического обеспечения испытаний автотранспортных средств, обоснована необходимость оценивания неопределенности измерений при проведении испытаний автотранспорта.

Ключевые слова: автомобильный транспорт, стандартизация, сертификация, метрологическое обеспечение, испытания.

CERTIFICATION OF VEHICLE TRANSPORT

Konstantin Bas¹, Vitaly Krivda²

¹Ph.D., Professor of the Department of Automobiles and Automobile Economy, National Technical University ‘Dnipro Polytechnic’, Dnipro, Ukraine, e-mail: bas.k.m@nmu.one

²Ph.D., Associate Professor of the Department of Automobiles and Automobile Economy, National Technical University ‘Dnipro Polytechnic’, Dnipro, Ukraine, e-mail: vitaliy.krivda@gmail.com

Annotation. The paper provides a theoretical analysis of the state of certification in motor vehicles, and standardization, also analyzes the regulatory framework for metrological support of vehicle tests, substantiates the need to assess the measurement uncertainty during vehicle tests.

Keywords: road transport, standardization, certification, metrological support, tests.

Введение. Автомобильный транспорт играет огромную роль в экономике любой страны. Высокие темпы автомобилизации (до 55 млн. автомобилей в год) в мире объясняются большой эффективностью, автономностью и мобильностью автомобиля по сравнению с другими видами транспорта. К негативным факторам автомобилизации относятся дорожно-транспортные происшествия и их последствия, а также загрязнение окружающей среды [1].

Целью работы является анализ системы сертификации на автомобильном транспорте с учетом требований безопасности его функционирования для окружающей среды.

К сертифицируемой продукции относятся изделия. Используемые на автомобильном транспорте в качестве предметов и средств труда:

Автотранспортные средства (автобусы, грузовые и легковые автомобили, специальные и специализированные автомобили и др.).

Эксплуатационные материалы (нефтепродукты и автопрепараты).

Гаражное оборудование.

К услугам могут быть отнесены:

Услуги в области перевозки грузов и пассажиров;

Услуги по техническому обслуживанию и ремонту автотранспортных средств и др.

Создание и функционирование сертификации на автомобильном транспорте связано с решением следующих задач:

Сертификация продукции предусматривает:

- определение путём проведения испытаний соответствия образца продукции установленным требованиям;

- проверку производства сертифицируемой продукции на наличие условий, обеспечивающих стабильный уровень характеристик и показателей, подтверждаемых сертификационными испытаниями;

- признание имеющихся у заявителя сертификатов соответствия;

- выдачу сертификата соответствия или Одобрения типа транспортного средства;

- инспекционный контроль над соответствием выпускаемой продукции сертифицированным характеристикам и показателям.

Сертификация услуг ТО и ремонту автомобилей.

Для минимизации негативных факторов в соответствии со ст. 29 Законом Украины «О дорожном движении», к участию в дорожном движении необходимо выделить стандарты, по которым допускаются транспортные средства, конструкция и техническое состояние которых отвечают требованиям действующих в Украине правил, нормативов и стандартов, имеющие сертификат на соответствие этим требованиям и прошедшие государственный технический осмотр [1].

Основной материал. Рассмотрим для ввоза и регистрации транспортных средств необходимую сертификацию автомобилей на территории Украины. Согласно законодательству Украины, автомобильный транспорт является объектом повышенной опасности, так как может быть источником причинения вреда здоровью и жизни граждан, а также является источником загрязнения окружающей среды.

Без наличия сертификата соответствия невозможно будет оформить транспортное средство в государственной автоинспекции и оформить заявленное автотранспортное средство на учет.

На сегодня сертификат на автомобиль также требуется при проведении таможенного оформления, сертификация автомобильного транспорта и контроль за ее проведением является предметом контроля со стороны таможенных органов, так как сертификатом подтверждаются нормы экологической безопасности. Сертификат на автомобиль нужен для проведения государственной регистрации [2]. Ниже приведена категория автомобильного транспорта, попадающие под эту процедуру:

- легковые, грузовые, грузопассажирские автомобили;
- полуприцепы и прицепы;
- троллейбусы, автобусы;
- специализированная техника;
- мотороллеры, мопеды, мотоциклы.

Сертификация транспортных средств в системе УкрСЕПРО может проводиться как юридическими, так и физическими лицами, а сертификат может быть оформлен как не единичный (один прицеп или легковой автомобиль), так и на серийный ввоз (партии мопедов).

Процедура сертификации происходит в следующей последовательности:

- заполнение автовладельцем специальной формы для проведения сертификации, а также предоставление органу сертификации копии документов на автотранспортное средство.
- рассмотрение заявки сотрудником, который специализируется на данном типе автомобилей.
- осуществление необходимых исследований, перечень которых зависит от типа автомобиля.
- анализ результатов испытаний автомобиля специалистом по сертификации.
- предоставление необходимого пакета документов (при соответствии показателей украинским стандартам) руководителю органа по сертификации для принятия окончательного решения.

После завершения всех проверочных работ владельцу автотранспорта выдается сертификат соответствия на специальном бланке, а также приложение с перечнем стандартов и указанным органом, который осуществил проверку на соответствие конкретного автотранспортного средства.

Также обязательная сертификация грузовых автомобилей и иных транспортных средств, ранее бывших в пользовании.

Международные требования к системам качества в автомобильной промышленности.

Развитие процессов международной стандартизации привели к разработке международного стандарта по

системам менеджмента качества в автомобильной промышленности – ISO/TS 16949:2002 [6].

Этот стандарт является совместной разработкой Международной рабочей автомобильной группы (IATF) и Японской ассоциации автомобилестроителей (JAMA) при поддержке организации ИСО. Он описывает требования к системам менеджмента качества предприятий, которые занимаются проектированием, производством, наладкой и обслуживанием продукции, предназначенной для автомобилестроительной промышленности. При этом ISO/TS 16949:2002 это не только стандарт на систему менеджмента, но и техническая спецификация, которая применяется при производстве автомобильной продукции или на станциях технического обслуживания. На сегодняшний момент ISO/TS 16949 – это альтернатива национальным стандартам для поставщиков автотранспорта и его составных частей [1]. Сертификация по этому стандарту позволит:

- повышать качество поставки серийной продукции и процессов на предприятии;
- применять общепринятые требования международных систем качества к автомобильной индустрии;
- участвовать в тендерах на производство комплектующих как для отечественных, так и для иностранных автопроизводителей и фирменных автосервисов;
- удерживать свою долю рынка, расширяя ее за счет не прошедших сертификацию поставщиков;
- оценивать поставщиков;
- проводить аудиты "третьей стороны", с гарантированной идентичностью требований;
- проводить аудиты в интересах клиента;
- получить сертификат по международному стандарту ISO/TS 16949:2002, вместо множества сертификатов по каждому из национальных стандартов.

В Украине ДСТУ ISO/TS 16949:2005 «Системи управління якістю. Специфічні вимоги до виробників автотранспортних засобів та запасних частин і приладдя до них щодо застосування ISO 9001:2000» (ISO/TS 16949:2002, IDT) утвержден приказом Государственного комитета Украины по вопросам технического регулирования и потребительской политики №239 5.09.2005 с введением в действие с 1.01.2007.

16949:2002 к испытательным лабораториям указывается, что свидетельством приемлемости лаборатории для потребителя может являться ее аккредитация по международному стандарту ISO/ IEC 17025 [8].

Этот стандарт определяет международное признание результатов испытаний и калибровки лабораториями, получившими аккредитацию от органов, которые заключили MRA с аналогичными органами других стран. Он законодательно закрепил необходимость наличия процедур оценивания неопределенности измерений, проводимых в аккредитованных лабораториях:

- при выборе, разработке и оценивании пригодности методов и процедур, которые используются в деятельности лаборатории (п. 5.4.1);

- при применении стандартизованных, нестандартизованных и разработанных лабораторией методов и процедур калибровки или испытания (п.5.4.6);

при оформлении свидетельств о калибровке и протоколов испытаний (п. 5.6.2.1.1, 5.10.4.1);

- при создании программ и процедур калибровки своих собственных исходных эталонов, образцовых веществ и оборудования, для обеспечения прослеживаемости проводимых лабораторией калибровок и измерений к Международной системе единиц (SI) (п. 5.6).

Оценивание неопределенности измерений, проводимых при испытаниях и калибровках должно осуществляться в соответствии с «Руководством о выражении неопределенности в измерениях» [9].

В Украине ДСТУ ISO/IEC 17025:2006 Загальні вимоги до компетентності випробувальних та калібрувальних лабораторій (ISO/IEC 17025:2005, IDT) утвержден приказом Государственного комитета Украины по вопросам технического регулирования и потребительской политики №375 от 27.12.06 с введением в действие с 1.07.2007. Кроме того, с приказом №196 от 1.07.2006 утвержден ДСТУ-Н РМГ 43:2006 Метрологія. Застосування «Руководства по выражению неопределенности измерений» (РМГ 43:2001, IDT) с введением в действие с 01.01.2007.

В соответствии с ISO/ IEC 17025 для лабораторий, проводящих испытания транспортных средств необходимо разрабатывать процедуры оценивания неопределенности. Следует отметить, что, несмотря на большое количество нормативных документов по оцениванию неопределенности измерений отсутствует руководство по оцениванию неопределенности измерений при испытаниях автотранспортных средств. С учетом развития процессов международной стандартизации в Украине, этот пробел должен быть заполнен в ближайшее время.

Выводы. Проведение обязательной сертификации необходимо для транспортных средств как новых, вышедших с производства, так и транспортных средств, бывших в эксплуатации. Наряду с процедурой обязательной сертификации автотранспорта также в Украине внедрен международный стандарт ISO/TS 16949:2002, устанавливающий требования к системам менеджмента качества предприятий, которые занимаются проектированием, производством, наладкой и обслуживанием продукции, предназначеннной для автомобилестроительной промышленности.

ЛИТЕРАТУРА

1. Жарко Ю.Г., (2008) / Ю.Г. Жарко. «Іспитання автотранспорта: стандартизація, сертифікація, оцінювання неопределеності ізмерень».-Харків/2008. 108-111с.
 2. <https://friedman.com.ua/info/tariff-regulation/certifications/sertifikacija-transportnyh-sredstv-419/>
 3. Наказ Держпотребстандарту України №28 від 1 лютого 2005 р. «Про затвердження переліку продукції, яка підлягає обов'язковій сертифікації єа Україні».
 4. Наказ Державного комітету України по стандартизації, метрології та сертифікації від 17.01.97 г. №23 «Про внесення змін і доповнень до Правил обов'язкової сертифікації дорожніх транспортних засобів, їх складових та приладдя, затверджених наказом Держстандарту України від 17.01.97 №23».
 5. Постанова Кабінету Міністрів України від 13 січня 1999 р. №41 «Про Порядок ведення Української класифікації товарів зовнішньоекономічної діяльності».
 6. ISO/TS 16949:2002. Quality management systems -Particular requirements for the application of ISO 9001:2000 for automotive production and relevant service part organizations.
 7. Закон України №1765-IV “Про внесення змін до Закону України “Про метрологію та метрологічну діяльність”” від 15.06.04.
- ISO/IEC 17025:2005. General requirements for the competence of testing and calibration laboratories.

УДК 544.643

ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ ЗОЛЯ НАНОЧАСТИЦ СЕРЕБРА НА ЭДС ГАЛЬВАНИЧЕСКОГО ЭЛЕМЕНТА ЯКОБИ-ДАНИЭЛЯ

Е.Ю. Ван¹, А.Е. Градов², Е.А. Ильина³

¹кандидат технических наук, доцент Институт живых систем, ФГАОУ ВО «Балтийский федеральный университет имени Иммануила Канта», г. Калининград, Россия, e-mail: elenavan2007@yandex.ru

²студент Института живых систем, ФГАОУ ВО «Балтийский федеральный университет имени Иммануила Канта», г. Калининград, Россия, e-mail: gradov270@mail.ru

³студент Института живых систем, ФГАОУ ВО «Балтийский федеральный университет имени Иммануила Канта», г. Калининград, Россия, e-mail: eliz.il'yina2014@yandex.ru

Аннотация. Проведено комплексное исследование золя наночастиц серебра, измерены ЭДС гальванического элемента в зависимости от объёмной доли золя наночастиц серебра в растворах электролитов методом прямой потенциометрии. Данные, полученные из зависимостей ЭДС гальванического элемента от объемной доли золя наночастиц серебра в катодном и анодном пространствах электролита, подтверждают предположение о перезарядке мицеллы и поляризации катода.

Ключевые слова: наночастицы, серебро, потенциометрия, гальванический элемент.

RESEARCH OF THE INFLUENCE OF COLLOIDAL SOLUTION OF SILVER NANOPARTICLES ON THE EMF OF THE JACOBI-DANIEL ELECTRICAL ELEMENT

E. Y. Van¹, A. E. Gradov², E. A. Ilyina³

¹Ph.D., associate Professor Institute of living systems, Immanuel Kant Baltic Federal University, Kaliningrad, Russia, e-mail: elenavan2007@yandex.ru

²student of the Institute of living systems, Federal State Autonomous educational institution «Baltic Federal University of Immanuel Kant», Kaliningrad, Russia, e-mail: gradov270@mail.ru

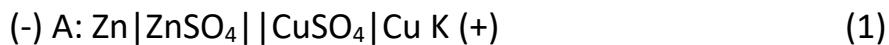
³student of the Institute of living systems, Federal State Autonomous educational institution «Baltic Federal University of Immanuel Kant», Kaliningrad, Russia, e-mail: eliz.il'yina2014@yandex.ru

Abstract. A comprehensive study of the colloidal solution of silver nanoparticles was carried out, and the EMF of a galvanic cell was measured depending on the volume fraction of it in electrolyte solutions by direct potentiometry. Data obtained from the dependence of the EMF of a galvanic cell on the volume fraction of the colloidal solution of silver nanoparticles in the cathode and anode spaces of the electrolyte confirm the assumption of micelle recharge and cathode polarization.

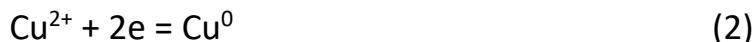
Keywords: nanoparticles, silver, potentiometry, galvanic element.

Введение. В современном мире бурное развитие претерпевает такое направление в химии и материаловедении, как наноматериалы. Вещества, находящиеся в высокодисперсном состоянии, обладают специфическими свойствами, в отличие от макро-состояния. Например, наночастицы металлов проявляют повышенную электропроводность, селективность, бактерицидность, теплопроводность и т.д. Данное явление – результат повышенной активности поверхностных атомов, а так же наличие в их структуре квантовых эффектов [1]. Приведенные выше свойства дисперсных систем делают их более практическими для решения задач во многих областях науки: электричества, аналитической химии, медицины и др. [2]. К примеру, создание новых топливных элементов; доставка лекарств внутрь организма, минуя его защитную систему; разработка новых методов анализа, основанных на применении биосенсоров, модификация электродов в электроанализе, диагностика онкологических заболеваний [3-6].

Для постановки эксперимента был выбран гальванический элемент Якоби-Даниэля, который состоит из меди и потенциалопределяющих ионов меди Cu^{2+} ; цинка и потенциалопределяющих ионов цинка Zn^{2+} , так как он наиболее простой в изучении и в проведении исследования. Формула гальванического элемента Якоби-Даниэля:



Электродные процессы, происходящие на катоде и на аноде соответственно, выражаются следующими полуреакциями:



Суммарная химическая реакция выглядит следующим образом:



Цель работы. Нами была поставлена цель - изучение механизма работы гальванического элемента Якоби-Даниэля по изменению ЭДС системы, модифицированной золем наночастиц серебра. Для достижения поставленной цели, были сформулированы следующие задачи:

1. Синтез наночастиц серебра, путем восстановления нитрата серебра высокомолекулярными соединениями.
2. Построение зависимостей объёмной доли наночастиц серебра в растворе электролита от ЭДС гальванического элемента.

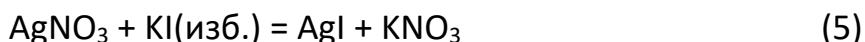
3. Изучение механизмов влияния наночастиц серебра на работу модифицированного гальванического элемента Якоби-Даниэля.

Актуальность темы обосновывается потребностью различных сфер в выгодных источниках энергии и коллоидных растворов в частности. Золи способны улучшать качественные и количественные показатели химических реакций [7].

Научная новизна исследования состоит в том, что в работе впервые изучен механизм работы гальванического элемента, модифицированный золем наночастиц серебра в электролите.

Изучение коагуляции золя электролитами активно изучается в настоящее время. В одном из источников [8] приводится подробный анализ по приготовлению и изучению золя наночастиц йодида серебра с следующей формулой: $\{w\text{AgI} * n\text{l}^- * (n - x)\text{K}^+ \}^{x-} * x\text{K}^+$.

Уравнение реакции получения золя наночастиц:



В ходе эксперимента, к получившемуся коллоидному раствору йодида серебра добавляли раствор электролита, который содержал ионы цинка Zn^{2+} . В результате ионного обмена в адсорбционном слое ионы Zn^{2+} оказались в избытке, и они не только полностью скомпенсировали отрицательный заряд потенциалопределяющих ионов (изоэлектрическое состояние), но и, придали коллоидной частице положительный заряд в двойном электрическом слое (рис. 1).

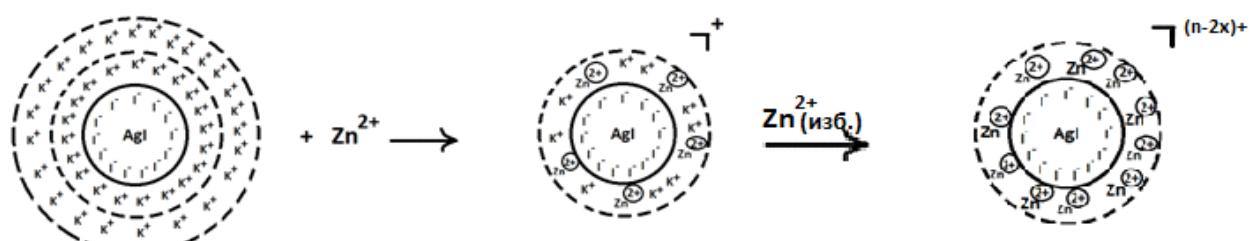


Рисунок 1 – Ионный обмен между ионами двойного электрического слоя

В ходе анализа источников информации было выявлено, что золь наночастиц серебра подходит для изучения работы модифицированного гальванического элемента Якоби-Даниэля по ряду свойств. Во-первых, серебро является наилучшим проводником электрического тока среди металлов. Во-вторых, золь наночастиц серебра прост в получении.

Материал и результаты исследований. Для получения наночастиц серебра с размером 10—20 нм используются конденсационные методы. Они

основаны на восстановлении ионов металлов из водных растворов соответствующих солей в присутствии высокомолекулярных соединений и поверхностно – активных веществ (ПАВ) как стабилизаторов. Образующиеся в итоге продукты синтеза в большей степени зависят от выбора восстановителя и условий проведения реакции. Авторы одной из статей [9] констатируют тот факт, что при получении золя наночастиц серебра с помощью тетрагидробората натрия, электропроводность исходного раствора нитрата серебра резко уменьшалась. Но при использовании в качестве восстановителя раствора искусственного пектина, электропроводность исходного раствора практически не изменялась. Таким образом, было решено использовать раствор искусственного пектина в качестве восстановителя.

В ходе анализа других научных работ [9-13], был выбран конденсационный метод синтеза наночастиц серебра, путем восстановления из нитрата серебра раствором искусственного пектина [10].

Были проведены измерения оптических свойств получившегося золя на спектрофотометре и на сканирующем электронном микроскопе (СЭМ). Максимум светопоглощения соответствует при длине волны 410 нм., средний радиус частиц составлял 18 нм. Формула мицеллы, полученной восстановлением раствором искусственного пектина, представлена на рисунке 2.

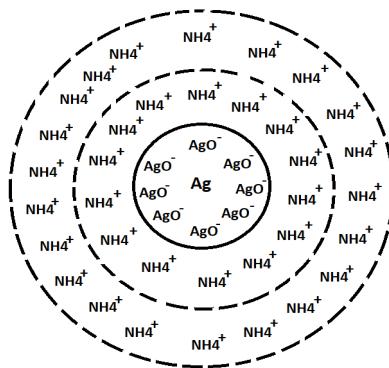


Рисунок 2 – Формула мицеллы, полученной восстановлением ионов серебра раствором пектина

Эксперимент по изучению механизма изменения ЭДС гальванического элемента от содержания наночастиц серебра в электролите проводили через 24 часа после приготовления с целью привести золь в упорядоченное состояние. Измерение ЭДС гальванического элемента проводили методом прямой потенциометрии [14].

При изучении механизмов влияния содержания золя наночастиц серебра в гальваническом элементе Якоби-Даниэля были выявлены следующие зависимости (таблица 1).

Таблица 1 – Зависимость ЭДС гальванического элемента от объёмной доли золя наночастиц

V (золя наночастиц), %	E(k)	E(a)	E(k+a)
0,0	1,083	1,083	1,085
5,0	0,677	1,081	1,084
10,0	1,085	1,085	1,084
25,0	1,082	1,086	1,083
50,0	1,080	1,088	1,085
75,0	1,060	1,091	1,084
99,0	1,007	1,191	1,085

Примечание. V (золя наночастиц) – объёмная доля золя наночастиц серебра, E(k) – ЭДС гальванического элемента с добавлением золя наночастиц в раствор сульфата меди, E(a) – ЭДС гальванического элемента с добавлением золя наночастиц в раствор сульфата цинка, E(k+a) – ЭДС гальванического элемента с добавлением золя наночастиц в раствор сульфата меди и сульфата цинка одновременно.

Графически числовые значения из таблицы 1 представлены на рисунке 3.

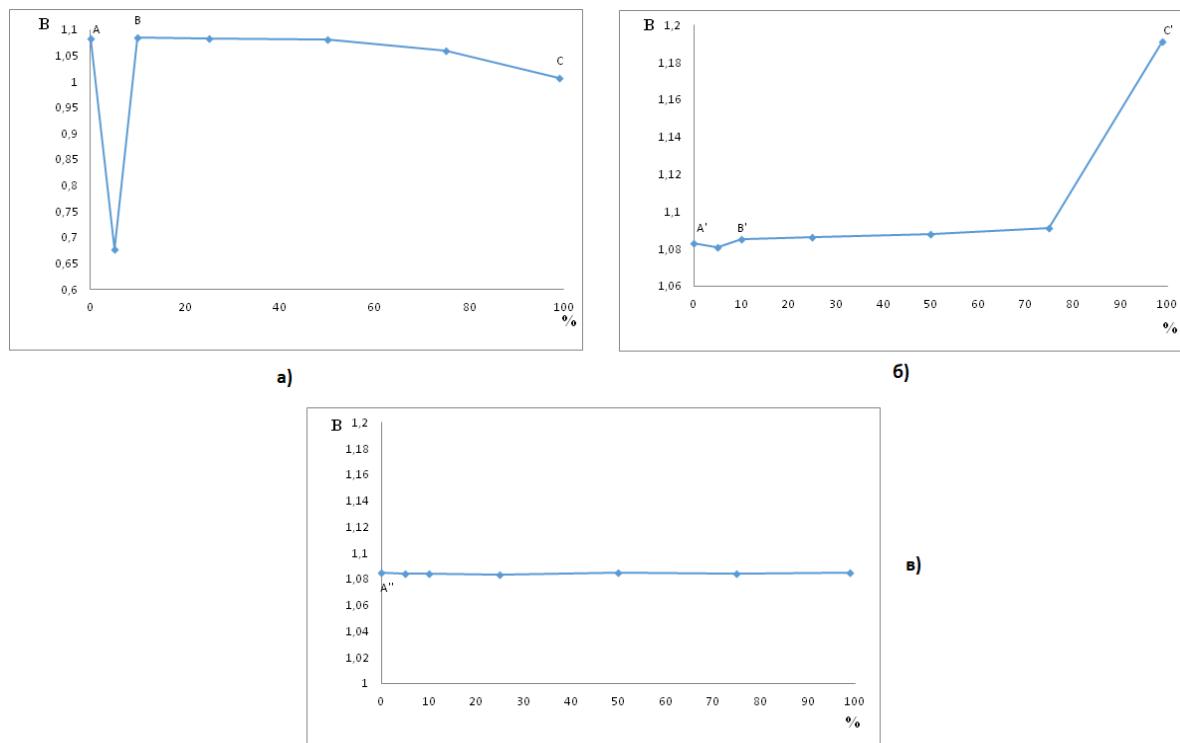


Рисунок 3 – Зависимости ЭДС от объёмной доли золя наночастиц серебра в катодном (а), в анодном (б) и в смешанных (катод + анод) пространствах (в)

В пояснении к рисунку, на графике 3(а) представлена динамика изменения ЭДС гальванического элемента при увеличении объёмной доли золя наночастиц серебра в растворе электролита на катоде:

Точка А – ЭДС гальванического элемента без золя наночастиц серебра.

Кривая АВ - скачок ЭДС гальванического элемента при увеличении объёмной доли золя наночастиц серебра.

Кривая ВС – уменьшение ЭДС гальванического элемента при увеличении объёмной доли золя наночастиц серебра.

На графике 3(б) изображена динамика изменения ЭДС гальванического элемента при увеличении объёмной доли золя наночастиц серебра в растворе электролита на аноде:

Точка А' – ЭДС гальванического элемента без золя наночастиц серебра.

Кривая А'В' - скачок ЭДС гальванического элемента при увеличении объёмной доли золя наночастиц серебра.

Кривая В'С' – увеличение ЭДС гальванического элемента при увеличении объёмной доли золя наночастиц серебра.

На графике 3(в) изображена динамика изменения ЭДС гальванического элемента при увеличении объёмной доли золя наночастиц серебра в растворе электролита на катоде и на аноде.

Точка А'' – ЭДС гальванического элемента без золя наночастиц серебра.

При добавлении золя вплоть до 5 % коагуляции золя не происходило, по причине быстрого добавления электролита [6]. Видимая коагуляция золя происходила, начиная с объёмной доли 25 %. Приведенные выше наблюдения были характерны для всех трех систем.

В электролите, содержащем золь наночастиц серебра на катоде (рис. 3(а)), изменения в значении ЭДС гальванического элемента происходят по причине перезарядки золя наночастиц серебра, и отталкиванием между положительно заряженной частицей и положительно заряженном электродом. В итоге, ионы меди Cu^{2+} не только полностью скомпенсируют отрицательный заряд потенциалопределяющих ионов AgO^- , но и окажутся в избытке, придавая коллоидной частице положительный заряд (рис. 4).

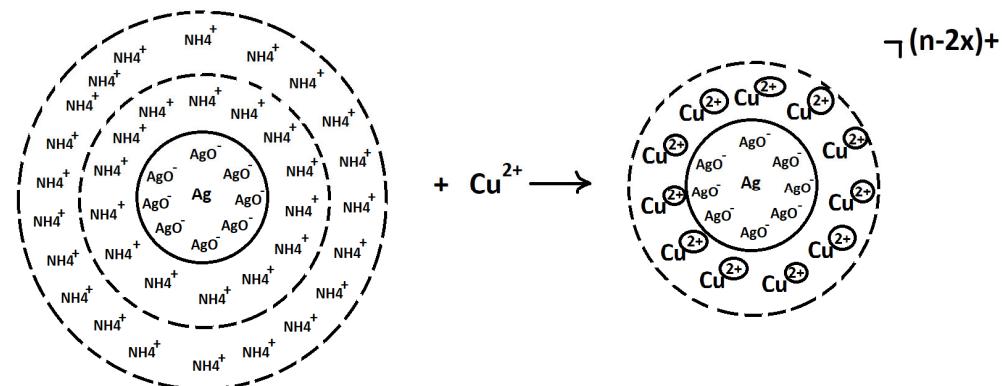


Рисунок 4 – Ионный обмен между ионами двойного электрического слоя мицеллы в растворе катодного электролита

Начиная с объёмной доли золя 25 % (происходит видимая коагуляция золя), наблюдается уменьшение ЭДС гальванического элемента, а на катоде потенциал уменьшается в соответствии со следующей формулой:

$$E = \varepsilon_k - \varepsilon_a, \quad (6)$$

где:

ε_k – потенциал на катоде (восстановление меди);

ε_a – потенциал на аноде (растворение цинка).

Скачок на графике (кривая АС) обусловлен действием наночастиц серебра. Следовательно, можно предположить, что золь наночастиц серебра выступает в качестве поляризатора катода, и может быть применен в качестве агента по замедлению скорости электрохимической коррозии изделий из металлов. Ход кривой CD обусловлен уменьшением ЭДС гальванического элемента.

В электролите, содержащем золь наночастиц серебра на аноде (рис. 3(б)), изменения в значении ЭДС гальванического элемента происходят по причине перезарядки золя наночастиц серебра и притяжения между положительно заряженными частицами и отрицательно заряженным электродом. В итоге, ионы цинка Zn^{2+} не только полностью скомпенсируют отрицательный заряд потенциалопределяющих ионов AgO^- , но и окажутся в избытке, придавая коллоидной частице положительный заряд (рис. 5).

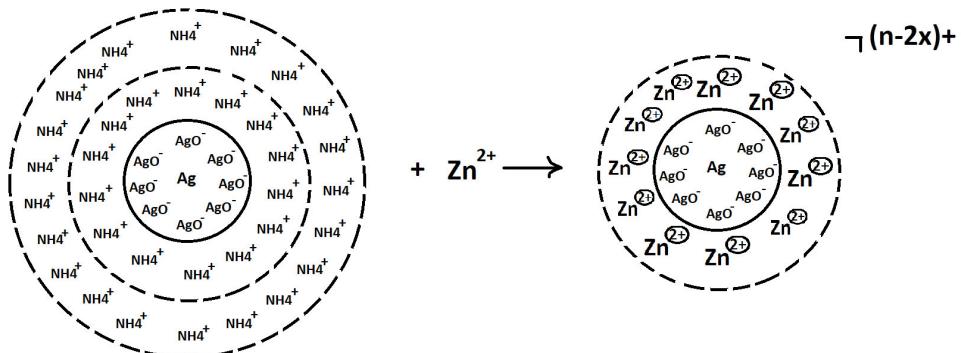


Рисунок 5 – Ионный обмен между ионами двойного электрического слоя мицеллы в растворе анодного электролита

Начиная с объёмной доли золя 25% (происходит видимая коагуляция золя), наблюдается увеличение ЭДС гальванического элемента, и потенциал на аноде уменьшался в соответствии с формулой (6). Скачок на графике (кривая АС) обусловлен действием золя наночастиц серебра, который выступает в качестве поляризатора анода. Как видно из графиков 3(а) и 3(б), поляризация на катоде и на аноде отличается. Это подтверждает тот факт, что скорость электрохимической коррозии в большей степени уменьшается из-за поляризации катода [15]. Ход кривой CD обусловлен действием золя наночастиц серебра.

В электролите, содержащем золь наночастиц серебра на катоде и на аноде (рис. 3(в)), заметных изменений в ЭДС не наблюдалось, что подтверждает нашу гипотезу о том, что наличие золя наночастиц в обоих электродных пространствах практически не влияет на значение ЭДС. График практически полностью подчиняется формуле ЭДС гальванического элемента, так как мы не учитывали влияние диффузионного потенциала.

Вывод. Таким образом, ЭДС гальванического элемента зависит от концентрации наночастиц серебра в растворе электролита. Было проведено сравнение полученных в эксперименте значений ЭДС гальванического элемента с теоретическими значениями ЭДС при разбавлении электролита. Увеличение ЭДС гальванического элемента Якоби-Даниэля было зафиксировано при увеличении концентрации золя наночастиц в растворе сульфата цинка. Предположительно, дальнейшее увеличение объёмной доли золя наночастиц серебра приведет к дальнейшему росту ЭДС гальванического элемента. При увеличении концентрации золя наночастиц серебра в сульфате меди было зафиксировано уменьшение ЭДС гальванического элемента.

Результаты исследования имеют большие перспективы в изучении ингибирования электрохимической коррозии изделий из металлов и в научно-исследовательских проектных институтах.

ЛИТЕРАТУРА

1. Соловов Р. Д., Ершов Б. Г. Получение наночастиц палладия заданного размера в водных растворах // Коллоидный журнал. – 2014. – Т. 76. – №. 5. – С. 645-645.
2. Сергеев Г. Б. Нанохимия металлов // Успехи химии. – 2001. – Т. 70. – №. 10. – С. 915-933.
3. Murray R.W. Nanoelectrochemistry: metal nanoparticles, nanoelectrodes, and nanopores // Chem. Reviews. – 2008. – V. 108. – №7. – P. 2688–2720.
4. Дыкман Л.А., Богатырев В.А. Наночастицы золота: получение, функционализация, использование в биохимии и иммунохимии // Успехи химии. – 2007. – Т. 76. – № 2. – С. 199–213.
5. Welch C.M., Compton R.G. The use of nanoparticles in electroanalysis: a review // Anal. Bioanal. Chem. – 2006. – V. 384. – P. 601–619.
6. Сидельников В. С. Получение наночастиц серебра для использования их в электрохимическом анализе. – 2017.
7. Ершов Ю.А., Попков В.А., Берлянд А.С. и др. Общая химия. Биофизическая химия. Химия биогенных элементов М.: Высш. шк., 2003. с. 560
8. Щукин Е.Д., Перцов А.В., Амелина Е.А. Коллоидная химия М.: Издательство «Юрайт», 2013. 444 с.
9. Коршунов А.В., Перевезенцева Д.О., Коновчук Т.В., Миронец Е.В. Влияние дисперсного состава золей серебра и золота на их электрохимическую активность // Известия Томского политехнического университета. Инженеринг георесурсов. – 2010. – Т. 317. – №. 3.
10. Шарова С. Р., Солозобов И. А., Никифорова Т. Е. Исследование способности водного экстракта и гидролизата корней одуванчика лекарственного восстанавливать нитрат серебра с образованием наночастиц серебра // Современные научные исследования и инновации. – 2016. – №. 9. – С. 13-17.
11. Коляда Л. Г. и др. Синтез и исследования наночастиц серебра // Альманах современной науки и образования. – 2013. – №. 10. – С. 79-82.
12. Хохлова Т. Д. и др. Адсорбционные и газохроматографические свойства силохромов, модифицированных серебром // Вестник Московского университета. Серия 2. Химия. – 2011. – Т. 52. – №. 2.
13. Вегера А. В., Зимон А. Д. Синтез и физико-химические свойства наночастиц серебра, стабилизованных желатином // Известия Томского политехнического университета. Инженеринг георесурсов. – 2006. – Т. 309. – №. 5.
14. Нечипоренко А.П. Физико-химические (инструментальные) методы анализа. Электрохимические методы. Потенциометрия и кондуктометрия СПб.: НИУ ИТМО; ИХиБТ, 2013. – 34 с.
15. Киреев В.А. Курс физической химии М.: Издательство «Химия», 1975, 776 с.

УДК 622. 23: 05459

ГУМОВА ФУТЕРОВКА ТА ЇЇ МІСЦЕ У ДЕЗІНТЕГРАЦІЇ МІНЕРАЛЬНОЇ СИРОВИННИ

Є.В. Калганков

старший викладач кафедри надійності і ремонту машин Дніпропетровського державного аграрно-економічного університету, м. Дніпро, Україна, e-mail: kalgankov.ye.v@dsau.dp.ua

Анотація. В статті розглянуто проблеми використання гуми в якості захисних футеровок для барабанних кульових млинів. Встановлено основні конструкції футеровок та наведено їх переваги. Наведено результати експериментальних виробничих досліджень футеровки типу "Плита-Н-Хвиля" на першій стадії подрібнення з кулею діаметром 100 мм. Встановлено дію профілю та матеріалу футеровки на технологічні показники процесу подрібнення, збільшення у зливі млина відсотку готового класу – 0,056 мм.

Ключові слова: гума, дезінтеграція, мінеральна сировина, залізна руда, футеровка, стадія подрібнення, млин.

RUBBER LINING AND ITS PLACE IN THE DISINSTALLATION OF MINERAL RAW MATERIALS

Ye.V. Kalgankov

Senior Lecturer at the Department of Reliability and Repair of Machines, Dnipro State Agrarian and Economic University, Dnipro, Ukraine, e-mail: kalgankov.ye.v@dsau.dp.ua

Abstract. The article deals with the problems of using rubber as a protective liner for drum ball mills. The basic designs of lining are established and their advantages are given. The results of experimental production investigations of the Plate-N-Wave lining at the first stage of grinding with a ball with a diameter of 100 mm are presented. The effect of profile and lining material on the technological parameters of the grinding process was established, the percentage of finished class mill increased by 0.056 mm.

Keywords: rubber, disintegration, mineral raw materials, iron ore, lining, grinding stage, mill.

Вступ. Дезінтеграція - розпад цілого на складові частини. Технологічна операція розбивання, подрібнення, розпушення, іноді з одночасним промиванням водою мінералів або мінеральної суміші, яка утворена відносно слабко зв'язаними між собою складовими частинами [1].

В усьому світі переробці піддається велика кількість корисних копалин, так за даними U.S. Geological Survey, світовий видобуток залізної руди скла-

дає 2,3 млрд. тонн за рік і поступово збільшується. На переробку якої витрачається до 10 % всієї світової енергії [2]. Тільки в Україні щороку перероблюють більше 100 мільйонів тон мінеральної сировини для отримання залізної руди.

Загальна проблема рудопідготовки, це великі енерговитрати та вартість засобів подрібнення: дробарок, млинів та інших. Так на рудозбагачувальних фабриках в Україні використовують в основному барабанні млини. Млини самоподріблени ММС або млини, де в якості тіл, що мелють використовують кулі, стрижні або цильпеси. Барабанні млини почали використовувати з другої половини XIX століття. Основною деталлю барабанного млина є, барабан, який сприймає дію завантаження і якщо його не захищати він дуже швидко вийде з ладу. Так в якості захисту барабана до початку ХХ століття, використовували дерев'яні бруски та каміння. З початку ХХ століття барабани почали захищати металевою футеровкою різної форми та профілю [3]. З 60x років ХХ століття в якості футеровки почали використовувати гуму.

Сьогодні окрім металу в якості футерівок використовують гуму, кераміку, полімери та інше але їх вплив на роботу млина досліджено не достатньо. Тому питання захисту барабанів, зниження вартості обладнання, підвищення довговічності його роботи, підвищення технологічних показників та зниження витрат, є актуальним і потребує дослідження.

Метою роботи є – дослідження енергетично-технологічних показників гумової футеровки та її впровадження у процес дезінтеграції мінеральної сировини.

Матеріал та результати досліджень. Гума як конструкційний матеріал використовується дуже широко завдяки своїм властивостям:

- висока еластичність тобто здатність відновлювати свою форму після прикладання значних навантажень з мінімальними залишковими деформаціями (при розтягу на 700-800 % залишкова деформація складає не більше 10% для високо еластичних гум);
- здатністю поглинати вібраційні та звукові коливання;
- висока хімічна стійкість;
- стійкість до зношування та інше.

У загальному й спеціальному машинобудуванні гумові вироби виконують всілякі функції: захищають машини від вібронавантажень і зношування, виконують функції ущільнень і засобів захисту від звукового тиску, служать компенсаторами перекосів і неточностей монтажу, служать також у якості пружних ланок для передачі зусиль і крутного моменту і т.д. У всіх випадках використання гумові деталі практично не стикаються з технологічним навантаженням і прямо не виявляють впливу на технологічний процес. Їхній

вплив може бути лише непрямим, наприклад, у вібраційних машинах, де пружні ланки визначають режим роботи машини, впливаючи, в основному, на амплітуду й частоту коливань робочого органа.

Разом з тим, є особливий клас гумових деталей – робочі поверхні машин: футеровки й сита, які крім захисту робочих органів машин від динамічних навантажень і зношування ухвалюють також особисту участь у технологічному процесі. Більше того, у ряді випадків, як, наприклад, у барабанних млинах, такі деталі визначають важливі параметри технологічного режиму процесу здрібнювання й вагомо впливають на якість готового продукту.

Найбільш поширені конструкції футерівок, це "плита-плита" та "плита-ліфттер" рис. 1.

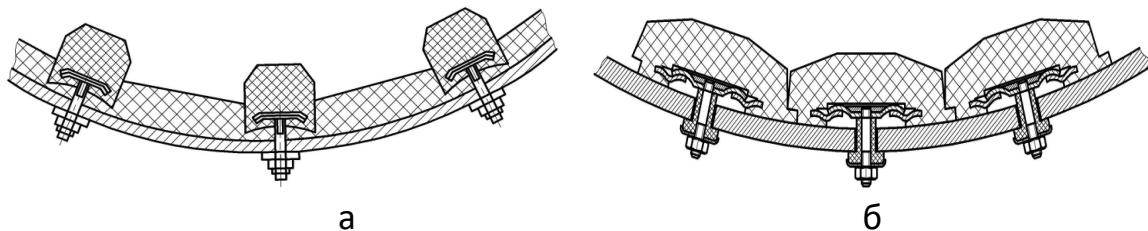


Рис. 1. – Гумова футерівка
а – типу "Плита-ліфттер", б – типу "Плита-плита"

Промислові випробування, що проводяться на ПівГЗК м. Кривий ріг, довели перевагу гумової футеровки над металевою на II та III стадіях де термін роботи футерівки становить 30000 годин [2, 3], а сьогодні завдяки новим конструкціям профілю футеровки [4, 5, 6] він сягає 40000 годин.

З метою заміни металевої футеровки на гумову, на першій стадії подрібнення на млині МШР 3,6x4,0 з кулею 100 мм, було встановлено новітню футеровку "Плита-Н-Хвиля" виробництва ТОВ "Валса ГТВ" [6]. В результаті проведення досліджень було встановлено не тільки збільшення терміну роботи футеровки (живучості), а ще й її вплив на технологічні показники млина. Так використання гумової футеровки дало змогу отримувати приріст готового класу руди -0,056 від 17 до 42 % у зливі млина на різних стадіях подрібнення таблиця 1 та рис.2.

Таблиця 1 – Результати технологічних випробувань металевої та гумової футеровок

Стадія подрібнення	I стадія		II стадія		III стадія	
Матеріал футеровки	метал	гума	метал	гума	метал	гума
Розмір кулі, мм	100	100	40	40	40	40
Приріст готового класу крупності (-0,056 мм), %	35,5	42	23,8	28,8	10,9	17,2

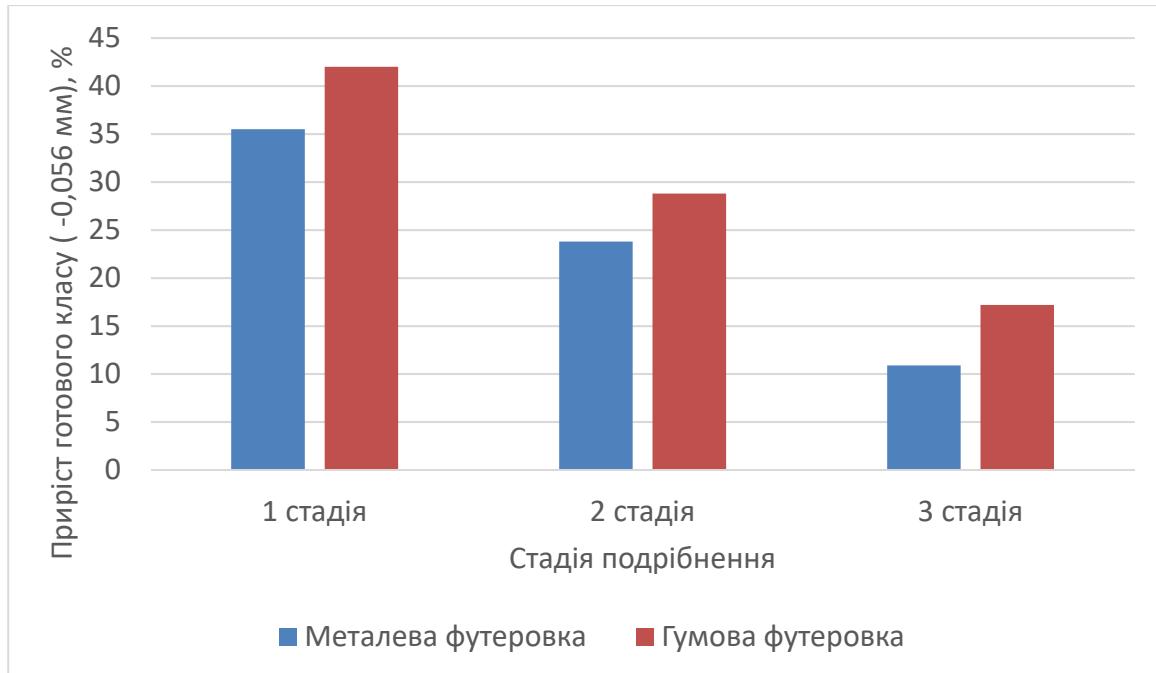


Рис. 2. – Приріст готового класу крупності (-0,056 мм) у зливі млинів I, II і III стадій подрібнення при використанні металевої та гумової футеровок

Приріст готового класу крупності пояснюється створенням зсувних напружень гумовою футеровкою, завдяки чому поліпшується якість помолу мінеральної сировини у млині, також відбувається краще розкриття мінералів і як наслідок підвищення вмісту заліза в концентраті на 0,3 %. Також у змиві млина третьої стадії збільшилась кількість готового класу крупності (- 0,044 мм) на 3,9 %.

Млини з гумовою футеровкою виходили на заданий технологічний режим у перші дні роботи, на відміну від млинів з металевою футеровкою, які виходили на режим через 8-10 діб. Це пояснюється вдалою конструкцією профілю футеровки [5, 6], які швидко утворюють хвильовий характер зношеної поверхні футеровки рис. 3.



Рис. 3. – Гумова футерівка "Пдлита-Н-Хвіля"

а – напрацювання 4320 годин, б – фрагмент плити напрацювання 8891 година

Як видно з рисунку та як показують експериментальні дослідження, сталий хвильовий характер поверхні футеровки зберігається на протязі всього періоду роботи млина.

Слід підкреслити, що для кульових млинів витрати на футеровку є тільки малою частиною загальної вартості процесу подрібнення в порівнянні з вартістю середовища, що подрібнюється, і обсяgom матеріалу, що переробляється. Тому сьогодні стає вигідним вибрати оптимальний матеріал, конструкцію футеровки, що забезпечує необхідний приріст готового класу, зниження енергоспоживання й витрати куль, чим робити ставку тільки на вартість футеровки. Цим вимогам і відповідає гумова футеровка.

Висновок. У порівнянні з металевими гумові футеровки мають ряд незаперечних переваг. Так, наприклад, для кульових млинів при заміні металевої футеровки на гумову:

- маса футеровки знизилася приблизно в 4-5 разів;
- рівень звукового тиску на всіх частотах знизився до санітарних норм;
- працезатрати на монтажні й демонтажні роботи скоротилися приблизно в 3 рази;
- відсутні підтікання пульпи у місцях кріплення футеровки;
- забезпечується задана продуктивність млина вже з перших годин роботи;
- збільшується термін служби футеровки на 80-150 %.

При цьому міцність сировини, що переробляється, незначно впливає на зносостійкість гумової футеровки, у той час як для металевих цей параметр є одним з визначальних довговічність футеровки.

ЛІТЕРАТУРА

1. Дезінтеграція [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://uk.wikipedia.org/wiki>.
2. Калганков, Е.В. Інноваційна технологія дезінтеграції руди в кульових барабанних млинах першої стадії подрібнення / Е.В. Калганков // Сборник научных трудов международной конференции «Современные инновационные технологии подготовки инженерных кадров для горной промышленности и транспорта 2016». – Д.: НГУ, 2016. – С. 203-209.
3. Олейник, Т.А. Исследования влияния профиля резиновой футеровки на процесс измельчения в барабанных мельницах / Т.А. Олейник, И.В. Хмель. // Вісник Криворізького національного університету. – 2014. – №29.
4. Резиновые футеровки технологических машин / В.И. Дырда, Р.П. Зозуля, О.Н. Хоменко, И.В. Хмель. – Днепр: Журфонд, 2016. – 260 с.

5. Пат. 105550 Україна, МПК B02C 17/22 Футерівка барабанного млина / В.І. Дирда, В.О. Калашніков, Л.Г. Головко, Є.В. Калганков, І.В. Хмель, О.В. Стойко, І.М. Цаніді. - u2015 09188; заяв. 24.09.2015; опубл. 25.03.2016, Бюл.№ 6. – 4 с.

6. Пат. 78397 Україна, МПК B02C 17/22 Футерівка барабанного млина / В.О. Калашніков, Л.Г. Головко, О.В. Стойко. - u2012 14920 ; заяв. 26.12.2012; опубл. 11.03.2013, Бюл.№ 5. – 6 с.

УДК 622.7

ОБГРУНТУВАННЯ ВПРОВАДЖЕННЯ ТОНКОГО ГРОХОЧЕННЯ В ТЕХНОЛОГІЮ ЗБАГАЧЕННЯ МАГНЕТИТОВИХ КВАРЦІТІВ

Т.А. Олійник¹, Л.В. Скляр², Н.В. Кушнірук³

¹доктор технічних наук, професор кафедри збагачення корисних копалин і хімії, Криворізький національний університет», м. Кривий Ріг, Україна, e-mail: taoliynik@gmail.com

²кандидат технічних наук, доцент кафедри збагачення корисних копалин і хімії, Криворізький національний університет» м. Кривий Ріг, Україна, e-mail: lyuda.cuclina@gmail.com

³кандидат технічних наук, доцент кафедри збагачення корисних копалин і хімії, Криворізький національний університет» м. Кривий Ріг, Україна, e-mail: kushniruk-natalia@ukr.net

Анотація. В роботі проведено теоретичне дослідження можливості застосування тонкого просівання на останній стадії збагачення для виробництва концентрату з масовою часткою заліза не менше 68,0% на секціях Північного гірничу – збагачувального комбінату.

Ключевые слова: магнетитові кварцити, тонке грохочення, підвищення якості, залізний концентрат, вихід.

RATIONALE FOR THE INTRODUCTION OF FINE COAGULATION IN THE ENRICHMENT TECHNOLOGY OF MAGNETITE QUARTZITES

Tatiana Oliynyk¹, Lyudmila Skliar², Natalia Kushniruk³

¹Ph.D., Professor Department of Mining and Chemistry, Kryvyi Rih National University, Kryvyi Rih, Ukraine, e-mail: taoliynik@gmail.com

²Ph.D., Associate Professor, Department of Mining and Chemistry, Kryvyi Rih National University, Kryvyi Rih, Ukraine, e-mail: lyuda.cuclina@gmail.com

³Ph.D., Associate Professor, Department of Mining and Chemistry, Kryvyi Rih National University, Kryvyi Rih, Ukraine, e-mail: kushniruk-natalia@ukr.net

Abstract. This paper presents the theoretical study of the possibility of applying fine screening in the last stage of processing for concentrate production with a mass fraction of iron of at least 68.0% in the sections of the Northern Mining and Processing Plant.

Keywords: magnetite quartzite, fine screening, quality improvement, iron concentrate, mass recovery.

Вступ. На сьогодні актуальною проблемою для гірничо-металургійної галузі світу, і зокрема нашої країни є підвищення конкурентоспроможності товарної продукції. У сучасних умовах жорсткої конкуренції більшість гірничо-збагачувальних підприємств ведуть пошук високоефективних технологій для удосконалення своїх виробничих потужностей. Одним зі шляхів вирішення даної задачі є впровадження операції тонкого грохочення.

В даний час в Україні працюють 5 гірничо-збагачувальних комбінатів і гірничо-збагачувальний комплекс у складі ВАТ "АрселорМіттал Кривий Ріг" з переробки магнетитових кварцитів. Для визначення можливості впровадження операції тонкого грохочення в технологію збагачення магнетитових кварцитів з використанням високочастотних грохотів були проведені дослідження на рудах "АрселорМіттал Кривий Ріг", ПІВДГЗК, ПІВНГЗК, які показали можливість підвищення вмісту заліза в магнетитових концентраті від 1,7% до 2,7% [1-4].

Так для підвищення якості залізорудного концентрату на збагачувальній фабриці гірничо-збагачувального комплексу "АрселорМіттал Кривий Ріг" застосували тонке грохочення та розробили два варіанти технологічних схем: 1 – з тонким грохоченням у відкритому циклі; 2 – з тонким грохоченням в замкнутому циклі подрібнення. На сьогодні для збагачувальної фабрики №2 ГЗК "АрселорМіттал Кривий Ріг" розроблена проектна документація для реконструкції секції № 10 за схемою із застосуванням тонкого грохочення у відкритому циклі [1].

В умовах АТ "ПІВДГЗК" проведені полупромислові випробування по двох стадіальній технологічній схемі з заміною операції класифікації в гідроциклах на класифікацію з використанням технології тонкого грохочення на грохотах Derrick. Випробування проводилися як за технологічною схемою, з додатковими технологічними операціями в схемах (магнітна сепарація II і IV стадій, дешламації перед подрібненням, а також з використанням різних комбінацій просічих поверхонь на грохотах Derrick. У ході напівпромислових випробувань в результаті застосування технології тонкого просівання був отриманий концентрат з масовою часткою Fe заг. більше 67 %. Концентрат з таким вмістом було отримано як по 3-х стадіальній схемі, так і 2-во стадіальній схемі.

На ПІВНГЗК проводили випробування з впровадження тонкого грохочення в замкнутому циклі з заміною операції класифікації в гідроциклах на класифікацію з використанням тонкого грохочення на грохотах Derrick. Очікуваний результат - збільшення випуску концентрату, що містить 66 % заліза. Однак, дана технологія не дає можливості підвищення якості концентрату [2-4].

Мета роботи. Розглянути можливість використання тонкого грохочення для виробництва концентрату з масовою часткою заліза не менше 68,0 % на секціях РЗФ-1 ПРАТ "ПІВНГЗК".

Матеріал та результати досліджень. Лабораторні дослідження проводили на рудах поточного видобутку. За мінеральним складом вихідна руда ПРАТ "ПІВНГЗК" представлена кварцом 49,9 %, магнетитом -32,35 %. Гематит, кальцит, силікати складають 17,75 %. Коефіцієнт розкриття мінералів в пробі руди низький, становить для кварцу 6,44 %, магнетиту -5,53 %, гематиту – 6,87 %. У процесі збагачення збільшується розкриття мінералів за стадіями. Найбільша кількість розкритих мінералів спостерігається у IV стадії магнітної сепарації. Аналіз мінерального складу концентрату магнітної сепарації четвертої стадії показав, що продукт представлено на 84,97 % магнетитом. Вміст нерудних мінералів у даній пробі 13,3 %. Вільного кварцу приблизно 8 %, він знаходиться у зростках. Коефіцієнт розкриття мінералів у матеріалі проби концентрату магнітної сепарації четвертої стадії наведено у таблиці 1.

Таблиця 1 - Коефіцієнт розкриття мінералів в матеріалі проби концентрату магнітної сепарації четвертої стадії

Кварц	Магнетит	Гематит	Кальцит	Силікати	Пірит	Інші	Середнє
38,22	79,01	83,87	79,56	74,72	37,71	74,85	66,85

Хімічний склад концентрату магнітної сепарації четвертої стадії наведено у таблиці 2. У пробі продукту четвертої стадії магнітної сепарації класи крупності мінус 0,045 мм містять заліза від 67,42 %. Вихід цього класу дорівнює 94,23 %.

Результати дослідження підтвердили доцільність впровадження високочастотного грохоту після 4 стадії магнітної сепарації з розсівом за класом 0,045 мм. Аналіз результатів показав, що підвищення заліза в підрешетному продукті може бути підвищено вище 67,0 %. Перед тонким грохоченням передбачена операція розмагнічування, яка дозволяє дефлокулювати продукти. Це, по-перше, збільшує ефективність грохочення, по-друге, звільняє захоплені нерудні зерна з флокулами, а також покращує процес фільтрування.

Таблиця 2 - Хімічний склад концентрату магнітної сепарації IV стадії

Продукт	Найменування	Гранулометричний склад та масова частка заліза за класами крупності					Вихід	
		+0,14	-0,14 +0,07	-0,07 +0,056	-0,056 +0,045	-0,045		
							Fe mag у пробі	
Піски МД 2 стадії	Вихід класса, %		1,11	5,27	6,1	7,99	79,55	100,0
	Масова частка Фезаг, %	63,15	23,26	29,01	47,27	60,16	67,53	63,19
	Fe mag, %%	58,30	17,52	18,07	40,72	57,12	62,98	58,29
Концентрат 4 стадії	Вихід класса, %			0,69	2,00	3,14	94,23	100,0
	Масова частка Фезаг, %	65,01		17,73	21,53	37,95	67,42	65,26
	Fe mag, %%	60,00		14,16	18,44	32,76	62,26	60,15

Приріст масової частки заліза в підрешетний продукт становить понад 1,5 %. Так як живий перетин сита з літературних джерел становить від 32 до 43 %, то в надрешітному продукті присутня значна кількість дрібних класів. Цим же пояснюється і висока масова частка заліза в надрешітному продукті 63,96 %. Тому в запропонованій схемі обов'язкова установка класифікації надрешітного продукту в гідроциклоні. Піски гідроциклону направляються на іншу секцію в 3-стадію подрібнення. Для отримання концентрату з масовою часткою заліза 68 % необхідна п'ята стадія магнітної сепарації.

Висновки. Згідно з результатами проведених досліджень на рудах поточного видобутку ПІВНГЗК при повному впровадженні операції тонкого грохочення на високочастотних грохотах після IV стадії магнітної сепарації можливо випуск високоякісного та конкурентоспроможного на залізорудному ринку концентрату зі вмістом заліза більше 68,03 %, 26,08 % за виходом і вилученням 50,19 %. Піски класифікації 15,26 % по виходу з якістю 63,03 % і вилученням 27,21 % допрацьовуються на іншій секції з отриманням якістю концентрату 65,5 %. Вихід концентрату складає 13,74 %, сумарний вихід товарного продукту становить 39,82 %, вилучення 75,65 %.

Рекомендується виконати ТЕО і провести більш глибокі дослідження з розробки оптимального режиму грохочення і впровадження тонкого грохочення на кінцевій стадії збагачення.

ЛІТЕРАТУРА

1. Ширяев А.А. Применение тонкого грохочения для повышения качества железорудного концентрата на обогатительной фабрике горно-обогатительного комплекса "Арселор-Миттал Кривой Рог" / А.А. Ширяев, Е.Н. Нескоромный, А.И. Мироненко, С.А. Самохина, С.С. Старых // Вісник КНУ. – Кривой Рог, 2013.
2. Хміль І.В. Виробництво залізорудного концентрату в умовах РЗФ-1 ПАТ ПІВНГЗК з впровадженням у технологію збагачення операції тонкого грохочення / І.В. Хміль, О.В. Булах, О.Л. Костючик // Гірничий вісник. – № 97 – Кривий Ріг: КНУ, 2014. – С. 226-231.
3. Булах О.В., Хміль І.В., Булах О.О. Тонке грохочення як перспективний метод підвищення ефективності збагачення магнетитових кварцитів // Гірничий вісник. – 2015. – № 100. – С. 102-105.
4. Булах О..В. Визначення доцільності використання операції тонкого грохочення при збагаченні магнетитових кварцитів // Збагачення корисних копалин: Наук.-техн. зб. – 2017. – Вип. 67(108). – С. 49-56.
5. Пелевин А.Е. Тонкое грохочение и его место в технологии обогащения железных руд // Известия вузов. Горный журнал – 2011. – № 4. – С. 111-117.

УДК 621.314.5

**СИНУС-ФИЛЬТР НАПРЯЖЕНИЯ ПОВЫШЕННОЙ ЧАСТОТЫ:
ОСОБЕННОСТИ ХАРАКТЕРИСТИК И ИСПОЛЬЗОВАНИЯ**

М.Ю. Пустоветов

кандидат технических наук, инженер кафедры технологии машиностроения, Технологический институт (филиал) Донского государственного технического университета, г. Азов Россия, e-mail: mgsn2006@yandex.ru

Аннотация. В работе проведено исследование посредством компьютерного моделирования свойств синус-фильтра напряжения повышенной частоты при различных параметрах фильтра и системы электроснабжения, элементом которой он является. Даны рекомендации по выбору параметров фильтра и системы электроснабжения для наилучшего соблюдения электромагнитной совместимости.

Ключевые слова: синус-фильтр, система электроснабжения, преобразователь частоты, компьютерное моделирование.

SINE-WAVE FILTER FOR INCREASED FREQUENCY OF VOLTAGE: FEATURES OF CHARACTERISTICS AND USAGE

Mikhail Pustovetov

Ph.D., Engineer of Engineering Technology Department, Technological Institute (Branch) of Don State Technical University, Azov, Russia, e-mail: mgsn2006@yandex.ru

Abstract. In this paper author suggests results of the study carried out by simulation of properties of sine-wave filter for increased frequency of voltage at various parameters of the filter and the power supply system, of which it is an element. Paper contains recommendations for parameters of filter and power supply system selection for the best compliance with electro-magnetic compatibility.

Keywords: sine-wave filter, electrical power supply system, frequency converter, simulation.

Введение. Известны используемые для питания автономных объектов системы электроснабжения (СЭ) [1, 2], содержащие в своем составе (рис 1 а)): источник симметричного трехфазного напряжения с частотой 50 Гц и действующим значением линейного напряжения 380 В; преобразователь частоты (ПЧ), состоящий из трехфазного входного выпрямителя 1 (диоды $VD_7 - VD_{12}$), звена постоянного напряжения 1 (Γ -образный фильтр L_{d1}, C_{d1}) и трехфазного двухуровневого автономного инвертора напряжения (АИН) с широтно-импульсной модуляцией (ШИМ) ($IGBT$ -транзисторы $VT_1 - VT_6$ и диоды $VD_1 - VD_6$), в установившемся режиме работы частота основной гармоники напряжения на выходе ПЧ составляет $f_1 = 400...600$ Гц [3]; синус-фильтр (СФ) (трехфазный Γ -образный фильтр $R_{LSF}, L_{SF}, C_{SF}, R_{CSF}$) [3, 4]; трехфазный повышающий трансформатор (Тр1); кабель-трос (R_C, L_C, C_C); трехфазный понижающий трансформатор (Тр2); трехфазный выпрямитель 2 (диоды $VD_{13} - VD_{18}$); звено постоянного напряжения 2 (Γ -образный фильтр L_{d2}, C_{d2}) и эквивалентную нагрузку в виде активного сопротивления R_{load} . Отметим, что выпрямитель 2 и звено постоянного напряжения 2 являются головной частью еще одного ПЧ, также содержащего АИН, питающий широко регулируемый электропривод (на рис 1 а) эти АИН и электропривод заменены сопротивлением R_{load}). В [1, 2] достаточно полно освещены многие аспекты проектирования таких СЭ за исключением вопроса о характеристиках СФ.

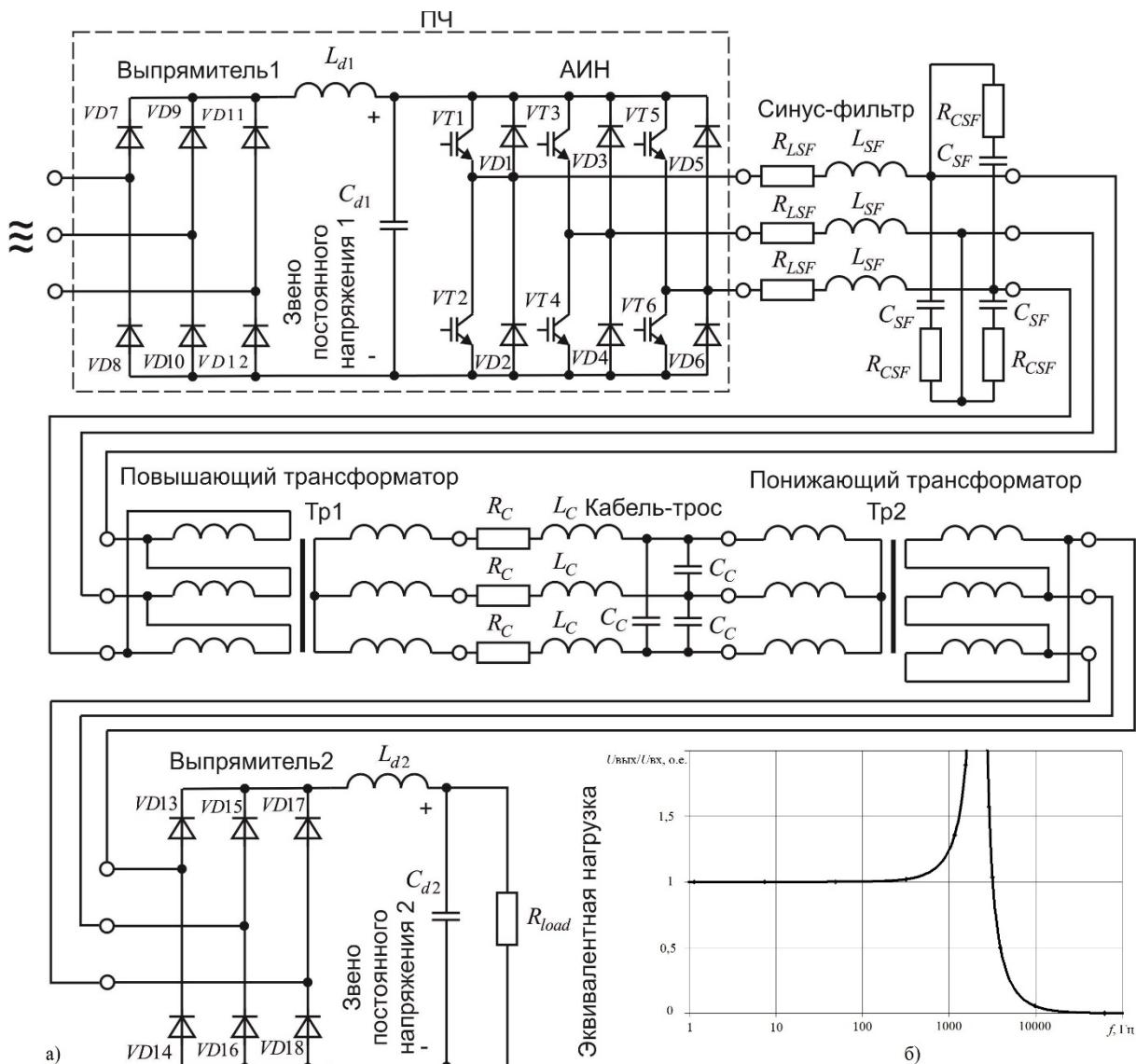


Рисунок 1 – а) схема электрическая принципиальная СЭ;
б) расчетная АЧХ СФ Schaffner FN5020-75-35

Цель работы. Требуется выявить особенности характеристик и использования СФ при повышенной частоте напряжения для их учета при разработке СЭ.

Материал и результаты исследований. Исследование производится методом компьютерного моделирования СЭ, изображенной на рис 1 а). Поскольку промышленностью изготавливаются СФ для повышенной частоты напряжения, имеет смысл проанализировать характеристики серийного СФ. Автору были любезно предоставлены параметры СФ Schaffner FN5020-75-35, измеренные специалистами ООО «МГ-Сервис» (г. Москва). Эти данные совместно с характеристиками, опубликованными в [5], сведены в табл 1, где $f_{\text{рез}}$ – резонансная частота СФ [3], $f_{\text{ШИМ}}$ – несущая частота ШИМ в АИН, U_K – падения напряжения в продольной ветви фазы СФ, рассчитанное

по выражению (1), $U_{\text{Лном}}$ – номинальное действующее значение линейного напряжения, $I_{\text{ном}}$ – номинальное действующее значение тока продольной ветви СФ (через цепь R_{LSF} , L_{SF}).

$$U_K = \frac{\sqrt{3}I_{\text{ном}}\sqrt{(2\pi f_1 L_{SF})^2 + r_{LSF}^2}}{U_{\text{Лном}}} \cdot 100\%. \quad (1)$$

Таблица 1 – Расчетные характеристики СФ Schaffner FN5020-75-35

f_1	$I_{\text{ном}}$	$U_{\text{Лном}}$	L_{SF}	R_{LSF}	C_{SF}	R_{CSF}	$f_{\text{рез}}$	$f_{\text{ШИМ}}$	$\frac{f_{\text{ШИМ}}}{f_{\text{рез}}}$	U_K
Гц	А	В	мГн	мОм	мкФ	мОм	кГц	кГц	о.е.	%
400		75	500	0,195	8,62	8,5	10	2,3	14	6,2
600										13
										19

На рис 1 б) изображена расчетная АЧХ СФ Schaffner FN5020-75-35. В табл 2 сведены значения ординаты АЧХ для некоторых характерных частот.

Таблица 2 – АЧХ СФ Schaffner FN5020-75-35

f , Гц	400	2000	2800	600	3000	4200
№ гармоники	1	5	7	1	5	7
$\frac{U_{\text{вых}}}{U_{\text{вх}}}$, о.е. (в режиме ХХ)	1,03	5,21	1,87	1,08	1,30	0,40
$\frac{U_{\text{вых}}}{U_{\text{вх}}}$, о.е. (в номинальном режиме)	1,03	3,57	1,70	1,07	1,23	0,39

Из рис 1 б) и табл 2 видно, что основная гармоника напряжения попадает в зону усиления сигнала (в ту же область, кстати, попадают одна или обе наиболее низкочастотные высшие временные гармоники (ВВГ) напряжения: 5-я и 7-я). С точки зрения наименьшего усиления 5-й и 7-й ВВГ вариант с $f_1 = 600$ Гц предпочтителен по сравнению с вариантом при $f_1 = 400$ Гц.

На основании АЧХ можно уточнить требование по ограничению падения напряжения в продольной ветви фазы СФ, которое в [3] ограничивалось $U_K \leq 10\%$ во избежание чрезмерного ослабления основной гармоники напряжения. Учитывая усиление первой гармоники напряжения на выходе СФ, при необходимости можно допустить $U_K > 10\%$, что фактически имеет место для СФ Schaffner FN5020-75-35 согласно данным табл 1. Таким образом, обоснована возможность использования некоторого увеличения L_{SF} в

случае необходимости снижения $f_{рез}$ с целью смещения резонансного пика АЧХ ниже диапазона рабочих частот основной гармоники СФ.

Согласно рекомендациям [3] автором были предложены параметры СФ (на тот момент автор не располагал параметрами *Schaffner FN5020-75-35*), приведенные в табл 3 (как и в случае с *Schaffner*, схема соединения емкостей фаз (ССЕФ) Δ). Рекомендации по выбору конденсаторов СФ приведены в [6].

Таблица 3 – Расчетные характеристики СФ, предложенных автором

L_{SF}	R_{LSF}	C_{SF}	R_{CSF}	$f_{рез}$	$f_{ШИМ}$	$\frac{f_{ШИМ}}{f_{рез}}$
мГн	мОм	мкФ	мОм	кГц	кГц	о.е.
0,16	11	8	10	2,6	14	5,5
		13		2,0		6,9

Далее на рис 2 – 6 приведены результаты компьютерного моделирования токов и напряжений СФ с параметрами согласно табл 3 в зависимости от мощности эквивалентной нагрузки СЭ. Моделирование проводилось при условии максимального использования выходного напряжения ПЧ при $f_1 = 600$ Гц. Нагрузка СЭ (на R_{load}) может изменяться от холостого хода до перегрузки 45 кВт. За номинальную мощность Тр1 приняты 36 кВА и 30 кВА для Тр2. В схеме отсутствует L_{d2} . На рис 2 – 6 принята следующая нумерация графиков: 1 – действующее значение спектра тока через L_{SF} при $C_{SF} = 8$ мкФ (ССЕФ Δ) или $C_{SF} = 24$ мкФ (ССЕФ Y); 2 – действующее значение спектра тока через L_{SF} при $C_{SF} = 13$ мкФ (ССЕФ Δ) или $C_{SF} = 39$ мкФ (ССЕФ Y); 3 – действующее значение 1-й гармоники тока через L_{SF} при $C_{SF} = 8$ мкФ (ССЕФ Δ) или $C_{SF} = 24$ мкФ (ССЕФ Y); 4 – действующее значение 1-й гармоники тока через L_{SF} при $C_{SF} = 13$ мкФ (ССЕФ Δ) или $C_{SF} = 39$ мкФ (ССЕФ Y); 5 – величина падения напряжения на продольной ветви фазы СФ от 1-й гармоники тока, % (за 100 % приняты 380 В), при $C_{SF} = 8$ мкФ (ССЕФ Δ) или $C_{SF} = 24$ мкФ (ССЕФ Y); 6 – величина падения напряжения на продольной ветви фазы СФ от 1-й гармоники тока, % (за 100 % приняты 380 В), при $C_{SF} = 13$ мкФ (ССЕФ Δ) или $C_{SF} = 39$ мкФ (ССЕФ Y); 7 – действующее значение спектра линейного тока на выходе СФ при $C_{SF} = 8$ мкФ (ССЕФ Δ) или $C_{SF} = 24$ мкФ (ССЕФ Y); 8 – действующее значение спектра линейного тока на выходе СФ при $C_{SF} = 13$ мкФ (ССЕФ Δ) или $C_{SF} = 39$ мкФ (ССЕФ Y); 9 – действующее значение 1-й гармоники линейного тока на выходе СФ при $C_{SF} = 8$ мкФ (ССЕФ Δ) или $C_{SF} = 24$ мкФ (ССЕФ Y); 10 – действующее значение 1-й гармоники линейного тока на

выходе СФ при $C_{SF} = 13$ мкФ (ССЕФ Δ) или $C_{SF} = 39$ мкФ (ССЕФ Y); 11 – амплитудное значение спектра тока через C_{SF} при $C_{SF} = 24$ мкФ; 12 – амплитудное значение спектра тока через C_{SF} при $C_{SF} = 39$ мкФ; 13 – действующее значение спектра тока через C_{SF} при $C_{SF} = 24$ мкФ; 14 – действующее значение спектра тока через C_{SF} при $C_{SF} = 39$ мкФ; 15 – действующее значение 1-й гармоники тока через C_{SF} при $C_{SF} = 24$ мкФ; 16 – действующее значение 1-й гармоники тока через C_{SF} при $C_{SF} = 39$ мкФ (для графиков 11 – 16 ССЕФ Y); 17 – амплитудное значение спектра тока через C_{SF} при $C_{SF} = 8$ мкФ; 18 – амплитудное значение спектра тока через C_{SF} при $C_{SF} = 13$ мкФ; 19 – действующее значение спектра тока через C_{SF} при $C_{SF} = 8$ мкФ; 20 – действующее значение спектра тока через C_{SF} при $C_{SF} = 13$ мкФ; 21 – действующее значение 1-й гармоники тока через C_{SF} при $C_{SF} = 8$ мкФ; 22 – действующее значение 1-й гармоники тока через C_{SF} при $C_{SF} = 13$ мкФ; 23 – амплитудное значение спектра напряжения на цепочке C_{SF}, R_{CSF} при $C_{SF} = 8$ мкФ; 24 – амплитудное значение спектра напряжения на цепочке C_{SF}, R_{CSF} при $C_{SF} = 13$ мкФ (для графиков 17 – 24 ССЕФ Δ); 25 – амплитудное значение спектра напряжения на цепочке C_{SF}, R_{CSF} при $C_{SF} = 24$ мкФ; 26 – амплитудное значение спектра напряжения на цепочке C_{SF}, R_{CSF} при $C_{SF} = 39$ мкФ (для графиков 25 – 26 ССЕФ Y).

На рис 7 – 10 показаны расчетные осциллограммы для некоторых установившихся режимов работы СЭ [7], когда СФ имеет параметры, указанные в табл 3 (ССЕФ Δ), $C_{d2} = 9000$ мкФ. Для рис 7 – 9 отсутствует L_{d2} , а для рис 10 $L_{d2} = 0,44$ мГн. Нумерация графиков на рис 7 – 10 следующая: 1 – линейное напряжение на выходе ПЧ (входе СФ); 2 – линейное напряжение на выходе СФ; 3 – линейное напряжение на обмотке низшего напряжения Тр2; 4 – напряжение на C_{d2} или на R_{load} ; 5 – напряжение на выходе выпрямителя 2.

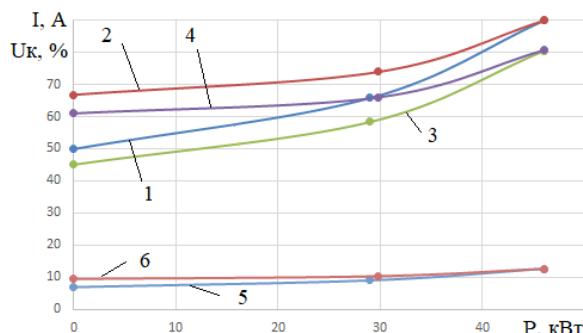


Рисунок 2 – Токи через L_{SF} и U_K

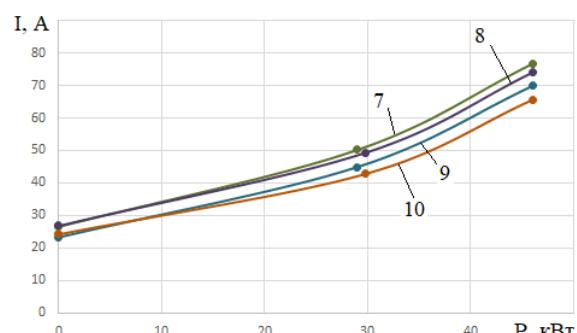
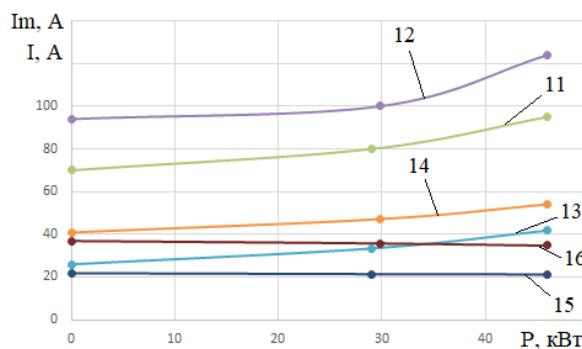
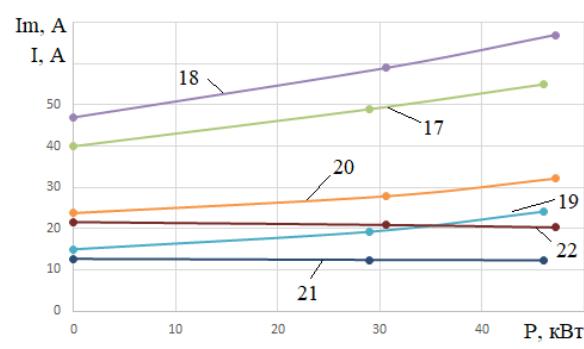
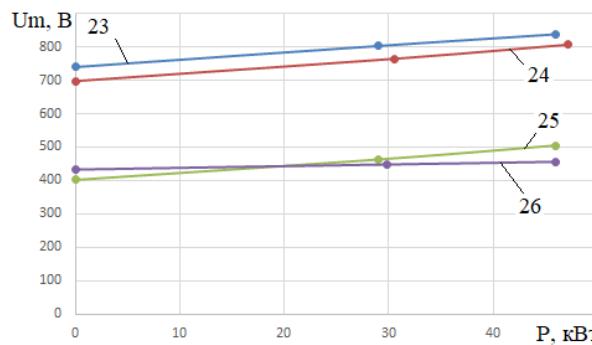


Рисунок 3 – Токи на выходе СФ


 Рисунок 4 – Токи через C_{SF} (CCEΦ Y)

 Рисунок 5 – Токи через C_{SF} (CCEΦ Δ)

 Рисунок 6 – Амплитуды напряжений на цепочке C_{SF} , R_{CSF}

Анализ рис 7 – 10 показывает, что СФ эффективно удаляет из спектра напряжения ВВГ, обусловленные ШИМ. Тем не менее, при отсутствии L_{d2} синусоидальность напряжения на выходе СФ и далее по схеме рис 1 а) на рис 7 и 9 выглядит весьма относительной. Форма напряжений (графики 2 и 3) близка к синусоидальной лишь в режиме холостого хода (рис 8). С увеличением нагрузки форма графика 2 все более отклоняется от синусоиды.

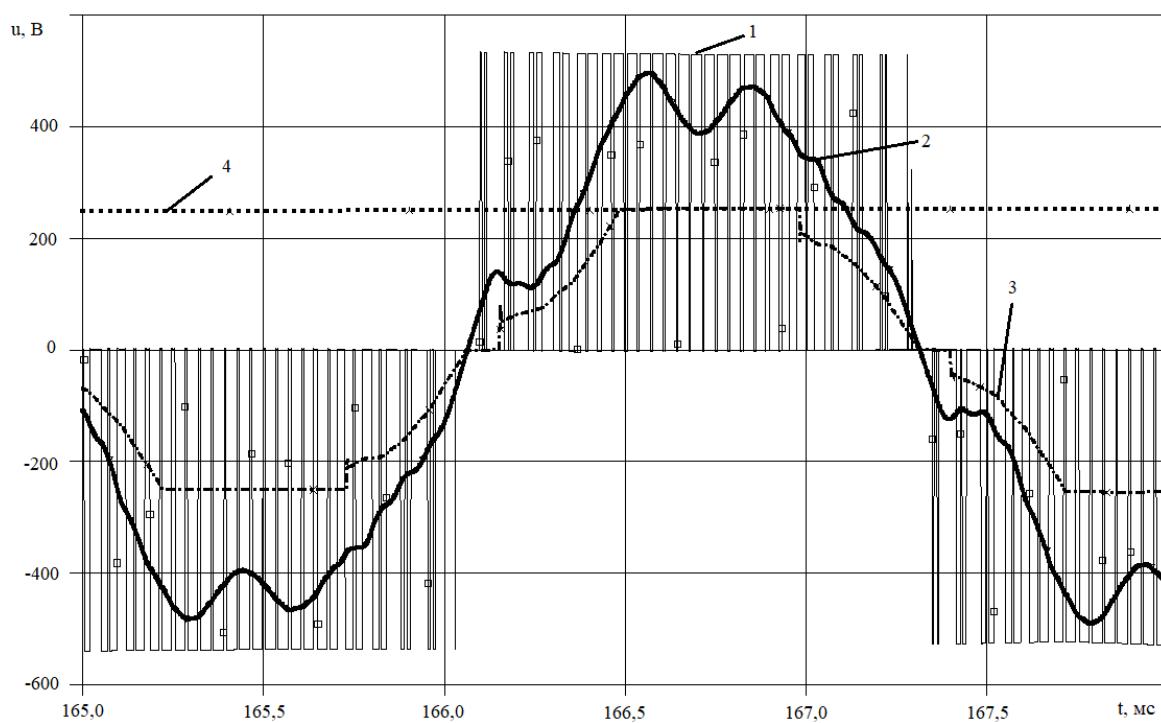


Рисунок 7 – Работа под нагрузкой при $f_1 = 400$ Гц при неполном напряжении на выходе ПЧ. $C_{SF} = 13$ мкФ

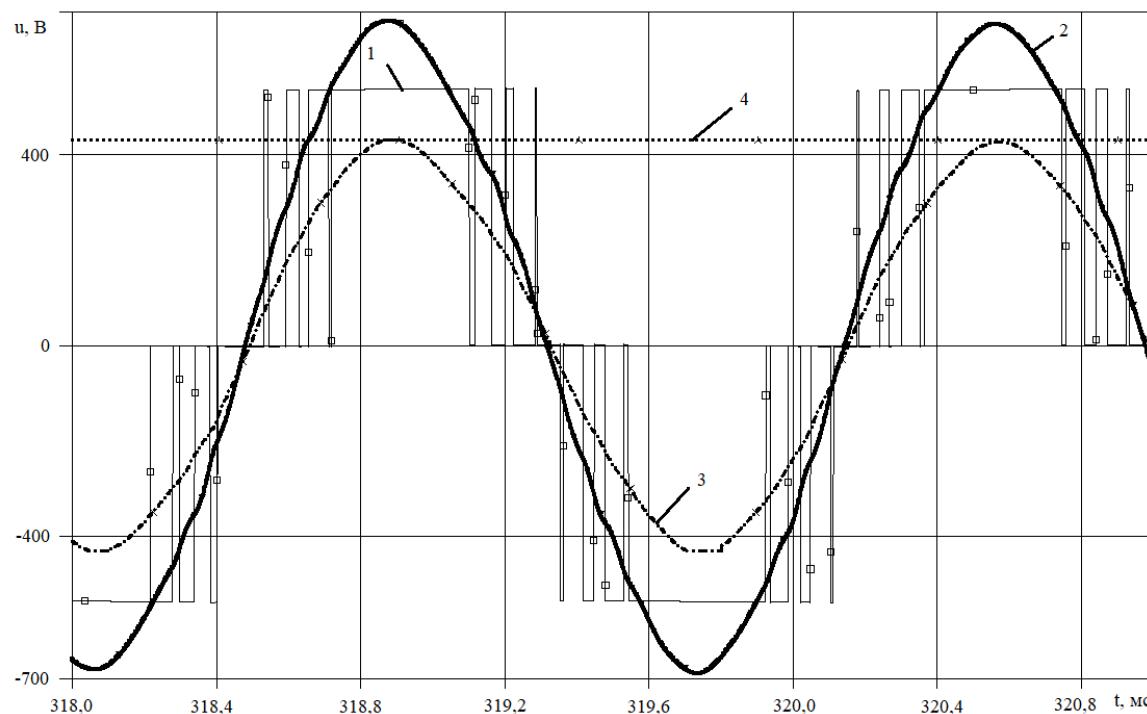


Рисунок 8 – Работа на холостом ходу и $f_1 = 600$ Гц при полном напряжении на выходе ПЧ. $C_{SF} = 13$ мкФ

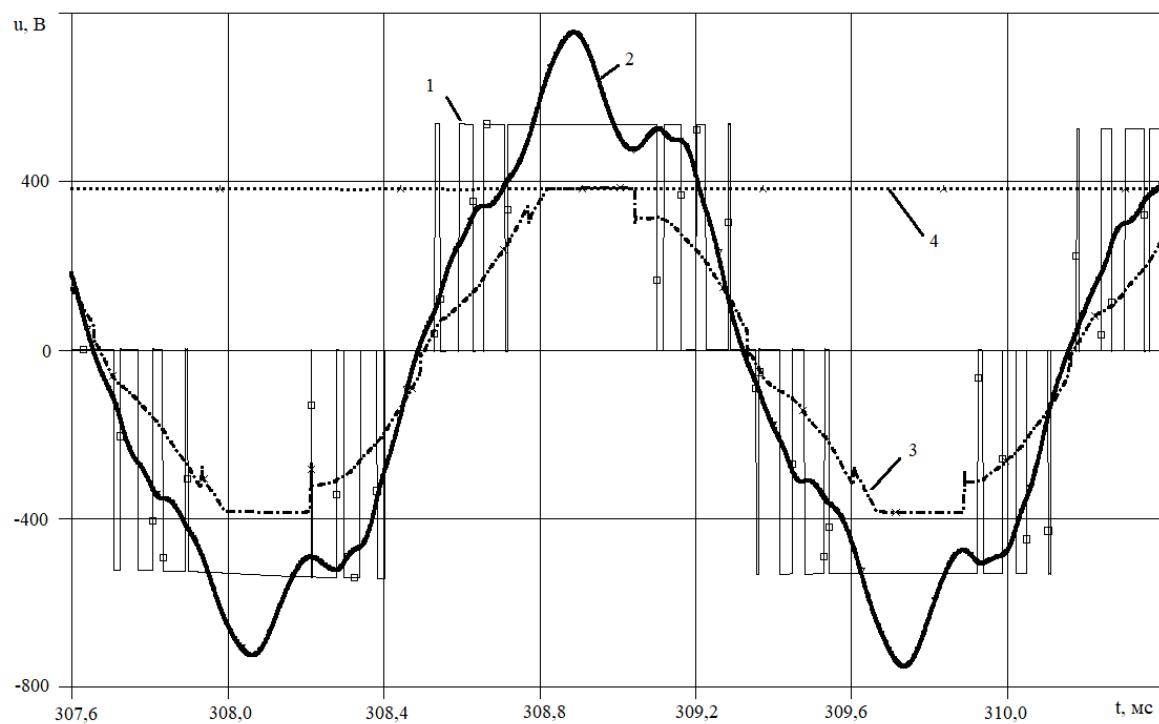


Рисунок 9 – Работа при эквивалентной нагрузке 30,6 кВт и $f_1 = 600$ Гц при полном напряжении на выходе ПЧ. $C_{SF} = 13$ мкФ

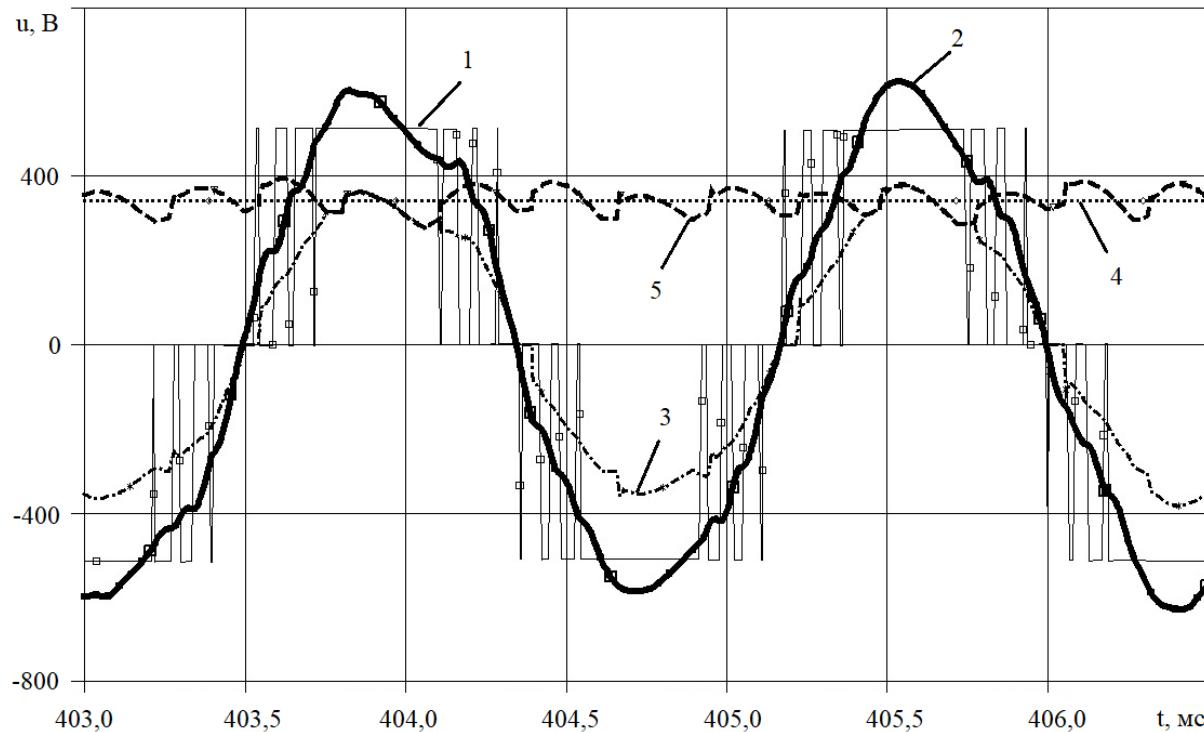


Рисунок 10 – Работа при эквивалентной нагрузке 24,4 кВт и $f_1 = 600$ Гц при полном напряжении на выходе ПЧ. $C_{SF} = 8$ мкФ

Как показывает гармонический анализ, это происходит за счет увеличения 5-й и 7-й ВВГ в спектре напряжения. Одновременно специфически деформируется график 3: у него появляется плоская (срезанная) вершина. Причем, абсолютная величина амплитуды графика 3 (плоская вершина) совпадает с участками графика 4 (рис 7 и 9).

То есть, если выпрямитель 2 СЭ нагружен непосредственно на C_{d2} , СФ способен обеспечить близкую к синусоиде форму выходного напряжения только в режиме холостого хода. Этот вывод подтверждается показанными на рис 11 опытными осциллограммами напряжений СЭ без L_{d2} , любезно предоставленными ООО «МГ-Сервис».

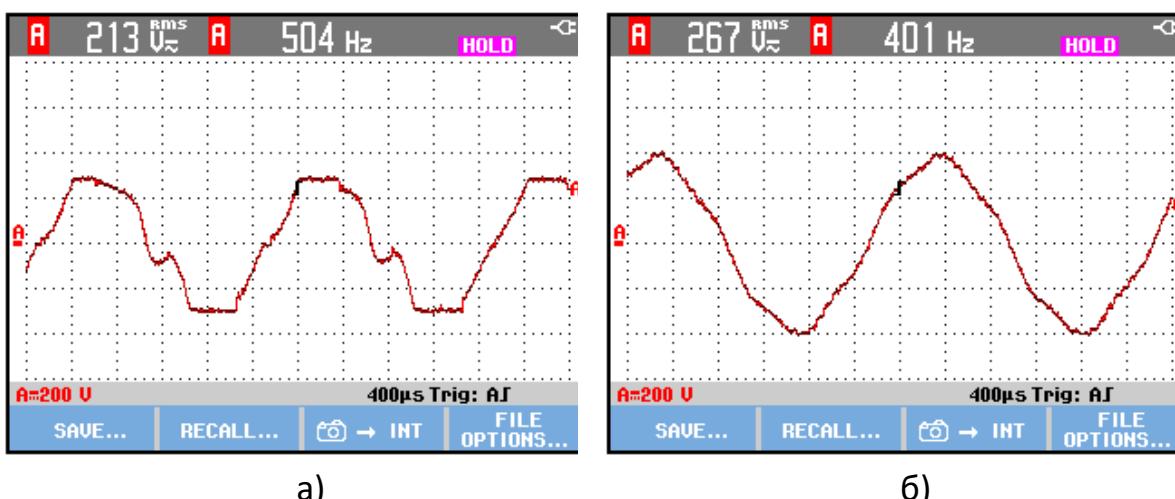


Рисунок 11 – Опытные осциллограммы напряжений СЭ при эквивалентной нагрузке 10 кВт и $L_{SF} = 0,09937$ мГн, $C_{SF} = 12$ мкФ.

- а) линейное напряжение на обмотке низшего напряжения Тр2 при $f_1 = 504$ Гц; б) линейное напряжение на выходе СФ при $f_1 = 401$ Гц

На рис 10 вершина графика 3 совпадает с графиком 5, что способствует «скруглению» графика 3, делает его более подобным синусоиде, в том числе под нагрузкой. Аналогичные результаты получаются при моделировании СЭ с СФ типа *Schaffner FN5020-75-35* [7]. Положительный эффект от наличия L_{d1} в схеме СЭ аналогичен описанному в [8].

Вывод. 1) с помощью АЧХ можно уточнить требование по ограничению падения напряжения в продольной ветви фазы СФ. Учитывая усиление первой гармоники напряжения на выходе СФ, при необходимости можно допустить $U_K > 10\%$;

2) при работе СФ на выпрямитель простым способом минимизировать искажение напряжения на выходе СФ и на эквивалентной нагрузке СЭ во

всем диапазоне нагрузки является использование в звене постоянного напряжения 2 индуктивности L_{d2} . При ее отсутствии добиться синусоидальной формы напряжения на выходе СФ возможно только на холостом ходу, но под нагрузкой форма напряжения на выходе СФ и на эквивалентной нагрузке будет заметно искажена;

3) дополнительным положительным эффектом от использования L_{d2} является снижение амплитуды напряжения на C_{SF} [6].

ЛИТЕРАТУРА

1. Букреев В.Г. Нелинейная модель системы электропитания погружных объектов с учетом изменения длины кабель-троса /В.Г. Букреев, Е.Б. Шандарова, В.М. Рулевский // Известия Томского политехнического университета. Инженеринг георесурсов, 2018. – Т. 329. – № 11. – С. 114 – 123.
2. Правикова А.А. Математическая модель системы электропитания телевуправляемого подводного аппарата с передачей энергии по кабель-тросу на переменном токе /А.А. Правикова, В.М. Рулевский, Д.Ю. Ляпунов, В.Г. Букреев // Доклады ТУСУРа, 2017. – Т. 20. – № 1. – С. 131 – 135.
3. Пустоветов М.Ю. Процедура выбора параметров синус-фильтра при повышенной частоте напряжения /М.Ю. Пустоветов // Современные инновационные технологии подготовки инженерных кадров для горной промышленности и транспорта, 2019. – Т. 1. – № 1 (6). – С. 146 – 152.
4. Пустоветов М.Ю. Имитационное моделирование явлений во вспомогательном асинхронном электроприводе электроподвижного состава: монография. – Ростов н/Д: ФГБОУ ВПО РГУПС, 2015. – 159 с.
5. Sine wave filters FN 5020 - SCHAFFNER Group - PDF Catalogs [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://pdf.directindustry.com/pdf/schaffner-group/sine-wave-filters-fn-5020/15134-878671.html>
6. Пустоветов М.Ю. Выбор конденсаторов для использования в выходных фильтрах электромагнитной совместимости преобразователей частоты /М.Ю. Пустоветов // Наука, образование, инновации: пути развития : материалы Десятой национальной (всероссийской) научно-практической конференции (21–23 мая 2019 г.). – Петропавловск-Камчатский : КамчатГТУ, 2019. – С. 38 – 40.
7. Пустоветов М. Ю. Компьютерное моделирование вариантов системы электроснабжения, содержащей преобразователь частоты и синус-фильтр /М.Ю. Пустоветов // Международная научно-практическая конференция "Наука, образование, культура" : сборник статей – Комрат : КГУ, 2020. – Т. 1 : Экономические науки. Сельское хозяйство и перерабатывающая промышленность. Информационные технологии, математика и физика. – С. 495 – 499. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://kdu.md/images/Files/sbornik-statey-29-2020-1.pdf>
8. Пустоветов М.Ю. Сравнительный анализ влияния индуктивности Г-образного фильтра в звене постоянного напряжения преобразователей частоты различной мощности на потребляемый из сети ток /М.Ю. Пустоветов // Электрооборудование: эксплуатация и ремонт, 2018. – № 12. – С. 8 – 14.

УДК 004.92; 711

АНАЛІЗ СИСТЕМ ВІЗУАЛІЗАЦІЇ СЦЕН В AUTODESK 3D MAX

I.B. Вернер¹, О.М. Твердохліб², В.Е. Дитюк³

^{1,2}асистент кафедри конструювання, технічної естетики і дизайну, e-mail: ill3@ukr.net

³студент групи 132м-19-2

^{1,2,3}Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», Дніпро, Україна

Анотація. У роботі розглядаються можливості систем візуалізації щодо отримання фотопрералістичного зображення сцени у 3Ds Max. Робиться наголос на вбудованих системах рендерінгу та простоті і зрозумілості роботи з системою для студентів.

Ключові слова: 3Ds Max, Autodesk, освіта, renderer, візуалізатор.

ANALYSIS OF RENDERER SYSTEMS IN AUTODESK 3D MAX

Ilya Verner¹, Alexander Tverdohleb², Viktoriia Dtyiuk³

^{1,2}Assistant, Department of Engineering and Generative Design, Dnipro University of Technology, Dnipro, Ukraine, e-mail: ill3@ukr.net

³Student of group 132m-19, Dnipro University of Technology, Dnipro, Ukraine

Abstract. This article considers review the possibilities of rendering systems for obtaining a photorealistic image of a scene in 3Ds Max. Emphasis is placed on build-in rendering systems and the ease and clarity of working with the system for students.

Keywords: 3Ds Max, Autodesk, education, renderer, rendering.

Вступ. В даний час складно собі уявити діяльність інженера обмежену тільки конструюванням і розрахунком виробів, а також підготовкою їх до випуску. Важливу частину в наш час відіграє естетична складова. Тобто необхідність підготовки кожного виробу з точки зору дизайну і ергономіки, а не тільки функціональних складових.

Найчастіше перед процесом виробництва необхідно продемонструвати замовнику фотопрералістичну тривимірну модель майбутнього продукту [1, 2]. І вже ґрунтуючись на моделі далі триває процес затвердження продукту, або зміна його зовнішніх властивостей, а вже потім настає час виробництва.

Для створення тривимірних моделей використовується широкий інструментарій програмного забезпечення. Дизайнери мають змогу використовувати спеціалізоване програмне забезпечення засноване на максимальній свободі процесу моделювання. Інженери же в свою чергу використовують своє програмне забезпечення, яке затиснute в досить вузьких рамках

класичних методів моделювання, дотримання точності розмірів, зазорів, та обмеження руху елементів відносно один одного.

Якщо проаналізувати існуючу обстановку по використанню програм у дизайнєрському середовищі, то кількість використовуваних програм зводиться до кількох: Cinema4D, 3DS Max, Blender, Houdini, Maya, ZBrush.

Опитування численних користувачів тривимірних пакетів моделювання показують що використання програмного продукту 3DS Max спрощує процес адаптація до тривимірної середовищі для новачків. Істотною перевагою щодо початку вивчення тривимірної графіки саме з даного програмного продукту є доступність навчальних матеріалів в текстовому та відео-форматі як на сайті виробника Autodesk так і на більшості освітніх платформ. Відповідно даний програмний продукт був обраний нами в якості базового для створення візуалізації тривимірних сцен [3, 4].

Мета роботи полягає в аналізі та виборі оптимальної системи візуалізації в середовищі 3Ds Max для використання в освітньому процесі при вивчені графічних і інженерних дисциплін.

Матеріал і результат досліджень. В процесі вдосконалення програмного продукту 3DS Max з часом з'являються нові системи візуалізації, а також оновлюється інструментарій вже існуючих систем візуалізації. На момент написання даної роботи актуальною була версія 2020. В даній версії присутні 5 вбудованих можливостей по візуалізації сцен (Рис. 1).

Окрім чотирьох систем рендерінгу існує можливість використовувати хмарний візуалізатор компанії Autodesk – A360. Посилати на рендерінг можливо сцени підготовані з налаштуваннями Scanline та Quicksilver. Також при використанні хмарного сервісу фінальне зображення автоматично завантажується у профіль візуалізацій облікового запису Autodesk (Рис. 2). Таким чином автоматично створюється портфоліо робіт, яким можливо поділитися з іншими.

У даній роботі основний упор робиться на виборі серед вбудованих систем візуалізації. Є також велика кількість візуалізаторів від інших виробників. Найчастіше вони надаються на платній основі і їх необхідно встановлювати додатково. У дуже стислому вигляді ми наведемо приклад двох систем візуалізації від Chaos Group. Це системи V-Ray та Corona Renderer. Ці візуалізатори найбільш популярні та розповсюджені серед дизайнерів. Найчастіше усього для архітектурної візуалізації використовується Corona Renderer, одна з версій котрої розповсюджується безкоштовно. V-Ray в свою чергу є повністю платним, але на сайті виробника є можливість пройти безкоштовні курси навчання та отримати сертифікацію з цієї системи.

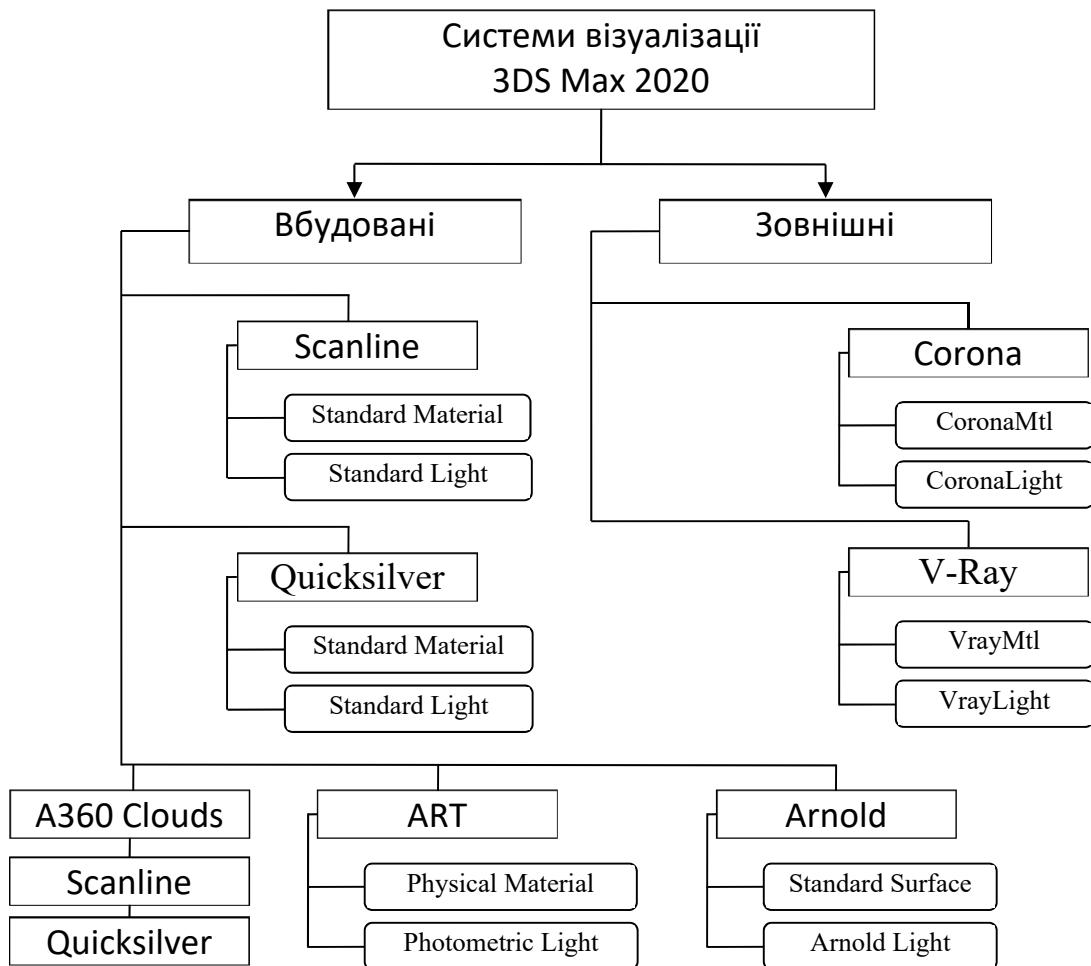


Рис. 1. – Основні системи візуалізації в 3Ds Max

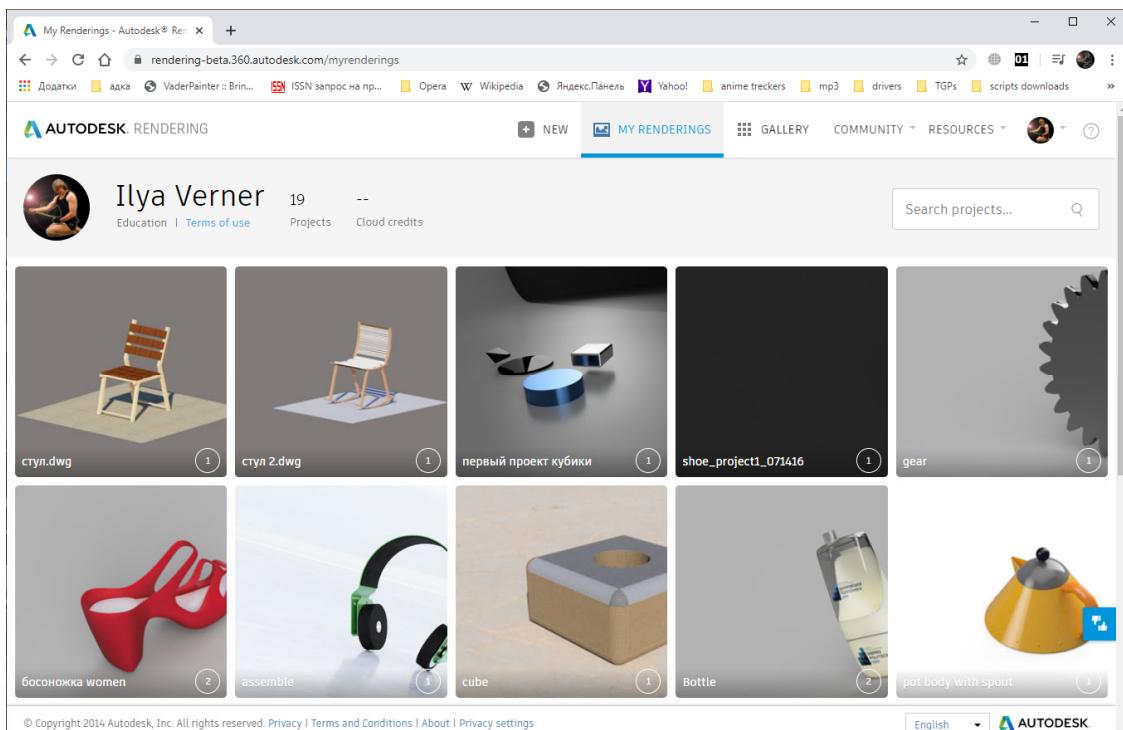


Рис. 2. – Інтерфейс хмарного портфолію Autodesk Rendering

При праці із системами візуалізації деякі з них мають набори або цілі бібліотеки налаштованих матеріалів, а деякі базуються на складних налаштуваннях базового матеріалу та налаштуваннях функціоналу візуалізатора.

Також ряд систем мають можливість виводу рендера у режимі реального часу. Така технологія має назву Active Shade. Нижче ми проаналізуємо основні можливості вбудованих систем візуалізації.

Default Scanline Renderer є базовою системою візуалізації з моменту появи 3Ds Max. Також він встановлений в якості системи візуалізації за замовчуванням і є універсальним засобом, яке відображає сцену у вигляді ряду ліній розгортки, які генеруються зверху вниз. Він працює швидко і не використовує системи відображення променів світла від по-поверхні (фізичного алгоритму освітлення), тому досягти фотorealістичного рендеру без додаткових налаштувань складно. З версії 2021 в якості базового в системі встановлено Arnold за умовчанням.

Додатковий функціонал по роботі з випромінюваннями (відображеннями / заломленнями) був доданий в Scanline багато років по тому. Це системи розрахунку Global Illumination, Ray Tracing і Radiosity, проте більшість функцій перейшло до нього від інших візуалізаторів.

Даний візуалізатор практично не оновлюється, базовим матеріалом для роботи з ним є матеріал Standard. Завдяки наявності даного візуалізатора і базових матеріалів є змога відкривати моделі зроблені в більш ранніх версіях не втрачаючи налаштувань текстур і сцени. Також визуалізатор можна використовувати для створіння не фотorealістичних зображень.

Quicksilver hardware renderer прискорює процес візуалізації використовуючи не тільки центральний процесор (CPU), але і графічний процесор (GPU). Це схоже на працю візуалізатору ігрового движка всередині 3ds Max. Основна роль CPU полягає в передачі даних сцени для рендерингу; це включає компіляцію шейдерів для конкретної використовуваної графічної карти. Через це перший кадр рендерингу може зайняти деякий час, так як шейдери компілюються. Це повинно відбуватися тільки один раз для кожного шейдеру: чим частіше використовується даний візуалізатор, тим швидше він працює.

Якість отриманого зображення залежить від графічного адаптера. За умовчанням він не працює з системою фізичного глобального освітлення, не підтримує системи трасування променів (Ray Tracing). Сфера застосування - створення чорнових візуалізацій і стилізованих зображень (технічний ілюстрацій).

Autodesk Raytracer (ART) renderer здійснює досить швидкий, заснований на CPU рендер з фізично достовірним оточенням. Що дозволяє використовувати даний механізм для архітектурних і промислових візуалізацій, а також створення анімації.

ART візуалізатор дозволяє з допомогою мінімуму налаштувань використовувати широкий функціонал можливостей непідготовлені людині. Підтримує системи фотометричного і IES світла, а також дозволяє імпортувати базові матеріали і освітлення для архітектурних об'єктів з Revit.

Однак з недоліків слід вказати обмеженість налаштувань фізики реального світу, та відсутність можливості виключати об'єкти з освітлення та створювати однобічні поверхні. Підходить для традиційних архітектурних візуалізацій, сумісний з іншими додатками Autodesk.

Arnold – це сучасна мультиплатформенна бібліотека рендерінгу, або API, яка використовується низкою відомих організацій в галузі кіно, телебачення і анімації, в тому числі Sony Pictures Imageworks. Він був розроблений як фотorealістична альтернатива трасування променів на фізичному рівні в порівнянні з традиційним програмним забезпеченням для візуалізації комп'ютерної графіки.

Arnold використовує передові алгоритми, які найбільш ефективно застосовують апаратні ресурси комп'ютера: пам'ять, дисковий простір, кілька процесорних ядер і блоки SIMD / SSE.

Архітектура Arnold була розроблена для легкої адаптації до будь-якими вимогами. Налаштування гнучкі і не обмежені можливістю тільки фізично достовірної візуалізації. Він побудований з блоків редакторів користувачем, в тому числі шляхом додавання нових шейдерів, камер, фільтрів і вузлів, а також процедурної геометрії, призначених для користувача типів променів і геометричних даних. Більш гнучкий і швидкий ніж ART рендерер. Сумісний практично з усіма додатками.

Основна мета архітектури Arnold – надати закінчене рішення в якості основного засобу візуалізації для анімації та візуальних ефектів. Однак Арнольд також можна використовувати як:

- Ray-сервер для традиційних scanline візуалізаторів.
- Інструмент для запікання / процедурної генерації даних освітлення (карти освітлення для відеоігор).
- Інтерактивний інструмент рендерінга і корекції.

Стисло охарактеризував вбудовані та найбільш поширені системи рендерінгу наведено зведену таблицю основних функціональних можливостей наданих систем (Табл. 1). Ми маємо змогу бачити що більшість систем візуалізації має свої базові матеріали та джерела освітлення. Але зовні-

шні візуалізатори також підтримують і класичні матеріалі та джерела освітлення. Якщо більш детальніше подивитись на основні властивості матеріалів різних систем можливо побачити розбіжності у основних параметрів (Табл. 2).

Таблиця 1 – Деякі можливості систем візуалізації

Властивості	Scanline	Quicksilver	ART	Arnold	Co-rona	V-Ray
Active Shade			+	+	+	+
Бібліотека матеріалів			+	+	+	
CPU rendering	+	+	+	+	+	+
GPU rendering		+		+	+	+
Фізичне освітлення			+	+	+	+
Підтримка матеріалу Standard	+	+	+	+	+	+
Підтримка матеріалу Physical	+	+	+	+	+	+
Стандартні джерела освітлення	+	+		+	+	+
Фотометричні джерела освітлення	+	+	+	+	+	+
Власні джерела освітлення				+	+	+

Для створення фотorealістичного зображення як мінімум потрібно налаштувати 5 параметра матеріалу – базовий колір (текстуру), відблиск та його форма, шорсткість поверхні, відображення і заломлення. У більшості матеріалів базовий колір має назву Defuse color, але у фізичному та поверхневому матеріалі він має назву Base Color. Відблиск має назву Specular, у деяких матеріалах маються інші назви. Відображення і заломлення відповідно Reflection і Refraction. Шорсткість поверхні майже всюди має назву Bump.

Проаналізував обидві таблиці можливо зробити підсумок що із вбудованих систем візуалізації найбільш гучний є новітній Arnold. Однак за великої кількості налаштувань матеріалу та системи, а також введенню нових термінів його опанування пов'язано з певними проблемами. А візуалізатор Art

має мінімум налаштувань та достатньо спрощений інструментарій налаштування фізичного матеріалу із можливістю використання шаблонів матеріалів.

Якщо розглядати зовнішні системи візуалізації то ми бачимо із таблиць повну сумісність із усіма джерелами освітлення та матеріалів та широкий діапазон можливостей. Але якщо дивитись з точки зору швидкості опанування Corona займає лідируюче місце завдяки простоті налаштувань та бібліотеци налаштованих матеріалів [5, 6].

Таблиця 2 – Основні властивості матеріалів

Standard	Physical	Standard Surface	CoronaMtl	VrayMtl
Material #27 – Standard <input type="radio"/> Ambient Color <input type="radio"/> Diffuse Color <input type="radio"/> Specular Color <input type="radio"/> Specular Level <input type="radio"/> Glossiness <input type="radio"/> Self-Illumination <input type="radio"/> Opacity <input type="radio"/> Filter Color <input type="radio"/> Bump <input type="radio"/> Reflection <input type="radio"/> Refraction <input type="radio"/> Displacement	Material #28 – Physical... <input type="radio"/> Base Weight Map <input type="radio"/> Base Color Map <input type="radio"/> Reflectivity Map <input type="radio"/> Refl Color Map <input type="radio"/> Roughness Map <input type="radio"/> Metalness Map <input type="radio"/> Diffuse Roughness Map <input type="radio"/> Anisotropy Map <input type="radio"/> Anisotropy Angle Map <input type="radio"/> Transparency Map <input type="radio"/> Transparency Color Map <input type="radio"/> Transparency Roughness... <input type="radio"/> IOR Map <input type="radio"/> Scattering Map <input type="radio"/> SSS Color Map <input type="radio"/> SSS Scale Map <input type="radio"/> Emission Map <input type="radio"/> Emission Color Map <input type="radio"/> Coating Weight Map <input type="radio"/> Coating Color Map <input type="radio"/> Coating Roughness Map <input type="radio"/> Bump Map <input type="radio"/> Coating Bump Map <input type="radio"/> Displacement Map <input type="radio"/> Cutout Map	Material #29 – Standard... <input type="radio"/> base <input type="radio"/> base_color <input type="radio"/> diffuse_roughness <input type="radio"/> specular <input type="radio"/> specular_color <input type="radio"/> specular_roughness <input type="radio"/> specular_IOR <input type="radio"/> specular_anisotropy <input type="radio"/> specular_rotation <input type="radio"/> metalness <input type="radio"/> transmission <input type="radio"/> transmission_color <input type="radio"/> transmission_depth <input type="radio"/> transmission_scatter <input type="radio"/> transmission_scatter_anisotropy <input type="radio"/> transmission_dispersion* <input type="radio"/> transmission_extra_roughness <input type="radio"/> subsurface <input type="radio"/> subsurface_color <input type="radio"/> subsurface_radius <input type="radio"/> subsurface_scale <input type="radio"/> subsurface_anisotropy <input type="radio"/> sheen <input type="radio"/> sheen_color <input type="radio"/> sheen_roughness <input type="radio"/> normal <input type="radio"/> tangent <input type="radio"/> coat <input type="radio"/> coat_color <input type="radio"/> coat_roughness <input type="radio"/> coat_IOR <input type="radio"/> coat_anisotropy <input type="radio"/> coat_rotation <input type="radio"/> coat_normal <input type="radio"/> coat_affect_color <input type="radio"/> coat_affect_roughness <input type="radio"/> thin_film_thickness <input type="radio"/> thin_film_IOR <input type="radio"/> emission <input type="radio"/> emission_color <input type="radio"/> opacity <input type="radio"/> id1 <input type="radio"/> id2 <input type="radio"/> id3 <input type="radio"/> id4 <input type="radio"/> id5 <input type="radio"/> id6 <input type="radio"/> id7 <input type="radio"/> id8	Material #45 – CoronaMtl <input type="radio"/> Diffuse color <input type="radio"/> Refl. color <input type="radio"/> Refl. gloss. <input type="radio"/> Anisotropy <input type="radio"/> Aniso rot. <input type="radio"/> Fresnel IOR <input type="radio"/> Refr. color <input type="radio"/> Refr. gloss. <input type="radio"/> IOR <input type="radio"/> Transl. color <input type="radio"/> Transl. frac. <input type="radio"/> Opacity color <input type="radio"/> Self-illum. <input type="radio"/> Bump <input type="radio"/> Displacement <input type="radio"/> SSS amount <input type="radio"/> SSS radius <input type="radio"/> SSS scatter color <input type="radio"/> Refl. env. <input type="radio"/> Refr. env. <input type="radio"/> Absorb. color <input type="radio"/> Volume scatter color	Material #46 – VRayMtl <input type="radio"/> Diffuse map <input type="radio"/> Reflect map <input type="radio"/> Refract map <input type="radio"/> Bump map <input type="radio"/> Refl. gloss. <input type="radio"/> Refr. gloss. <input type="radio"/> Displacement <input type="radio"/> Environment <input type="radio"/> Translucency <input type="radio"/> IOR <input type="radio"/> Fresnel IOR <input type="radio"/> Opacity <input type="radio"/> Roughness <input type="radio"/> Anisotropy <input type="radio"/> An. rotation <input type="radio"/> Fog color <input type="radio"/> Self-illum <input type="radio"/> GTR tail falloff <input type="radio"/> Metalness

Враховуючі специфіку освітнього процесу університету на кафедрі конструкціонного, технічної естетики і дизайну у якості базової системи візуалізації для дисциплін за вибором студента дизайнерського напряму використовується Art renderer. Апробував на практиці при викладанні курсу «Рендерінг середовища» методику використання було розроблені навчальні матеріали та відео що є наявними у відкритому доступі [7].

Висновки. Використовуючи в якості базової системи візуалізації ART рендерінг в умовах навчального процесу студенти успішно опановують навики створення фотorealістичних зображень. Цієї системи досить для потреб промислового та інтер'єрного дизайну. Але для використання при вирішенні широких творчих задумів наданої системи може не вистачити. І в такому випадку оптимальним рішенням може стати безкоштовний модуль системи Corona. Оскільки навчальних матеріалів по даної системі багато і вони дуже поширені, та завдяки простоті праці з нею використання наданої системи може поширити можливості візуалізації творчих задумів. Також Corona має інструментарій утиліт що істотно може оптимізувати процес моделювання і візуалізації [8].

ЛІТЕРАТУРА

1. Тормосов Ю.М. Візуалізація тривимірних об'єктів і основи дизайну / Ю.М. Тормосов, І.В. Нечипоренко, С.Ю. Саєнко // Сучасні проблеми моделювання: зб. наук. праць МДПУ ім. Б. Хмельницького, Мелітополь: Видавництво МДПУ ім. Б. Хмельницького, 2016. - Вип. 5, С. 138-142. Режим доступу: <http://magazine.mdpu.org.ua/index.php/spm/article/view/1495> (дата звернення: 24.03.2020).
2. Леві Л.І. Моделювання та програмна реалізація 3d візуалізації (на прикладі розробки інтер'єру) / Л.І. Леві, О.А. Ткачова // Новітні інформаційні системи та технології. – Полтава: ПНТУ, 2018. – Т. (8). – Режим доступу: <http://journals.nupp.edu.ua/mist/article/view/1603> (дата звернення: 24.03.2020).
3. Вишневська О. В. Навчання студентів-дизайнерів створенню візуалізацій тривимірних сцен у програмі 3ds Max / О. В. Вишневська // Технічна естетика і дизайн: міжвідомчий науково-технічний збірник. – 2018. – Вип. 14. – С. 224-228.
4. Вишневська О. В. Особливості створення реалістичних візуалізацій тривимірних сцен у програмі 3ds MAX / О. В. Вишневська // Актуальні проблеми сучасного дизайну : збірник матеріалів Міжнародної науково-практичної конференції (20 квітня 2018 р., м. Київ) : у 2-х т. – Київ : КНУТД, 2018. – Т. 2. – С. 133-136.
5. Коцур О. Є. Можливості функції Light Mix Corona Render / О. Є. Коцур ; наук. кер. О. В. Вишневська // Наукові розробки молоді на сучасному етапі : тези доповідей XVII Всеукраїнської наукової конференції молодих вчених та студентів (26-27 квітня 2018 р., Київ). - Київ : КНУТД, 2018. - Т. 1 : Сучасні матеріали і технології виробництва виробів широкого вжитку та спеціального призначення. - С. 426-427.
6. Древинська В. В. Переваги Corona Render перед іншими візуалізаторами / В. В. Древинська, О. В. Вишневська // Тези доповідей XV Всеукраїнської наукової конференції молодих учених та студентів "Наукові розробки молоді на сучасному етапі". Т. 1 : Секція

"Нові наукомісткі технології виробництва матеріалів, виробів широкого вжитку та спеціального призначення" : 28-29 квітня 2016 р. — К. : КНУТД, 2016. — С. 211.

7. Сторінка курсу за вибором студента «Рендерінг середовища» на сайті кафедри КТЕД. – Режим доступу: http://okmm.nmu.org.ua/ua/rendering_select.php (дата звернення: 24.03.2020).

8. Жоров Ю.В. Повышение Эффективности Работы В Программе 3ds Max / Ю.В. Жоров // Молодежь и наука: сборник материалов IX Всероссийской научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых с международным участием, посвященной 385-летию со дня основания г. Красноярска [Электронный ресурс] № заказа 2394. - Красноярск: Сиб. федер. ун-т., 2013. – Режим доступа: <http://conf.sfu-kras.ru/sites/mn2013/thesis/s009/s009-012.pdf> (дата обращения: 24.03.2020).

УДК 519.711.3

КОМПЛЕКС ПРОГРАММ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ КОНСТРУКЦИИ ПЕРВИЧНОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ДВУХКООРДИНАТНОГО МАГНИТОСТРИКЦИОННОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ УГЛОВЫХ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ

А.А. Воронцов¹, И.Г. Гвоздева²

¹доцент кафедры "Вычислительные машины и системы", к.т.н., Пензенский Государственный Технологический Университет, г. Пенза, Россия, e-mail: aleksander.vorontsov@gmail.com

²студент гр.19ИВ1м, Пензенский Государственный Технологический Университет, г. Пенза, Россия, e-mail: gvozd_69@mail.ru

Аннотация. Целью работы является исследование конструкции первичного преобразователя двухкоординатного магнитострикционного преобразователя угловых перемещений с помощью разработанного комплекса программ. Анализируются параметры и свойства элементов конструкции. В заключении сделаны соответствующие выводы.

Ключевые слова: математическая модель, метод моделирования, программа, расчет, моделирование, магнитострикция, преобразование, преобразователь угловых перемещений.

COMPLEX OF PROGRAMS FOR RESEARCH OF THE DESIGN OF THE PRIMARY TRANSDUCER OF THE TWO-ORDINATE MAGNETOSTRICTION CONVERTER OF ANGULAR MOVEMENTS

А.А. Vorontsov¹, И.Г. Gvozdeva²

¹lecturer of department "Computers and Systems", Ph.D., Penza State Technological University, s. Penza, Russia, e-mail: aleksander.vorontsov@gmail.com

²student, Penza State Technological University, s. Penza, Russia, e-mail: gvozd_69@mail.ru

Abstract. The aim of the work is to study the design of the primary transducer of a two-coordinate magnetostrictive angular displacement transducer with the help of the developed set of programs. The parameters and properties of structural elements are analyzed. In conclusion, the corresponding conclusions are made.

Keywords: mathematical model, modeling method, program, calculation, modeling, magnetostriction, transformation, angular displacement transducer.

Введение. В настоящее время в промышленности для измерения углов наклона объекта относительной горизонтальной или вертикальной плоскости применяются различные виды преобразователей угловых перемещений. По ряду основных параметров: точности, разрешающей способности, стоимости, наибольший интерес вызывают ультразвуковые магнитострикционные приборы. Их принцип действия основан на явлениях продольной магнитострикции, проявляющиеся через эффекты Видемана и Виллари.

Различают однокоординатные и двухкоординатные преобразователи угловых перемещений. Один из вариантов последней группы, описан в [1] и представлен на рисунке 1.

Он содержит магнитострикционный преобразователь перемещений, выполненный в виде сферического корпуса 1 из немагнитного материала, например пластика, с заполненной наполовину рабочей жидкостью 2, поплавковым элементом 3 с кольцевым постоянным магнитом, называемого также поляризатором 4, однотипными С-образными волноводами 5, 6 из магнитострикционного материала [2]. Для изготовления опытного образца и запуск его в серийное производство, необходим предварительный расчет параметров элементов конструкции.

Цель работы.

Целью данной статьи является создание программы, учитывающей как конструктивные особенности элементов конструкции, а также их массу, размеры и материалы.

Материал и результаты исследований. Так как, с увеличением расстояния от волновода до поляризатора происходит резкое уменьшение напряженности магнитного поля, создаваемого поляризатором (Π), то возникает необходимость в расчете и создании такой конструкции, где это расстояние было бы минимально. Данное условие выполняется при условии, что $d_{\Pi} < 2 \cdot R_C$, где d_{Π} -диаметр поляризатора, а R_C - радиус сферического корпуса. Это будет возможно, если ПЛ (поляризатор) будет располагаться симметрично относительно горизонтали, проведенной через центр сферического корпуса. Для расположения ПЛ (поляризатора) над поверхностью

рабочей жидкости (РЖ) необходимо, чтобы средняя плотность поплавкового элемента(ПЭ) и поляризатора была меньше плотности РЖ (рабочей жидкости).

Плотность РЖ (рабочей жидкости) определяется по формуле:

$$\rho_{РЖ} = \frac{\sum_{i=1}^n K_i \cdot \rho_i}{100\%} \quad (1)$$

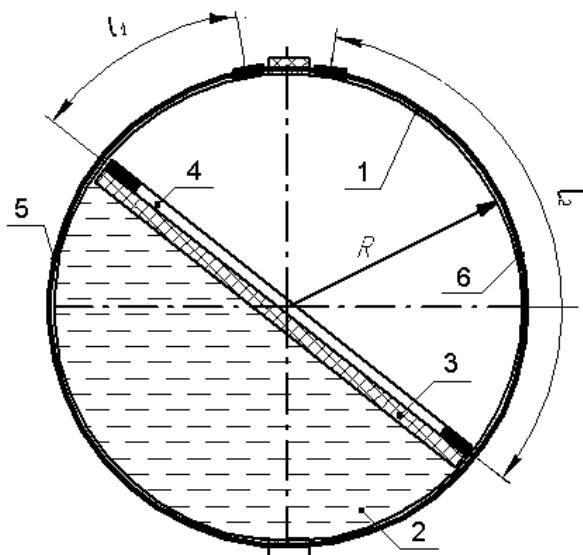


Рисунок 1 – Первичный преобразователь двухкоординатного магнитострикционного преобразователя угловых перемещений.

3) При наличии нескольких жидкостей, они должны быть смешивающимися.

Так как в справочных данных указывают массу и габаритные размеры поляризатора, то вычисление средней плотности поляризатора и поплавкового элемента будет осуществляться по формуле:

$$\langle \rho \rangle = \frac{m_{ПЛ} + m_{ПЭ}}{V_{ПЛ} + V_{ПЭ}} \quad (2)$$

где $m_{ПЭ}$ и $m_{ПЛ}$ - массы поплавкового элемента и поляризатора, а $V_{ПЭ}$ и $V_{ПЛ}$ - их объемы.

Так как корпус первичного преобразователя будет сферическим, то для обеспечения минимального расстояния от поляризатора до волновода возможно использование кольцевого или дискового поляризатора.

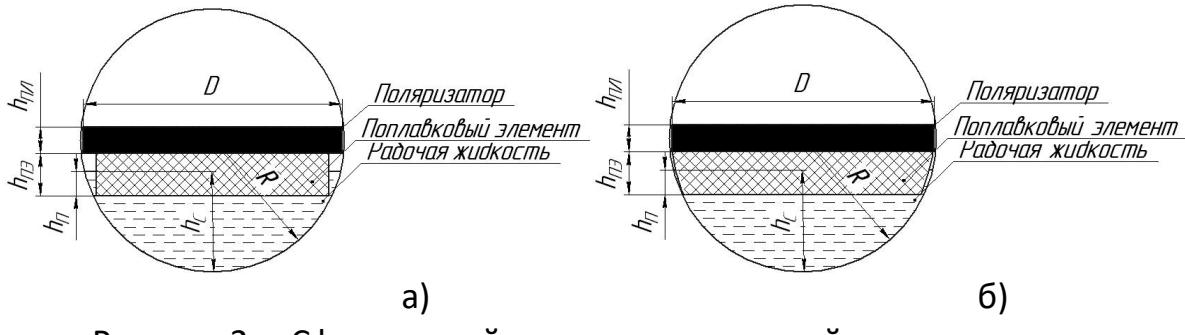


Рисунок 2 – Сферический корпус, содержащий поляризатор, поплавковый элемент а)цилиндрической формы и б) в виде шарового слоя, а также рабочую жидкость

Для расчетов объема для кольцевого и дискового поляризатора воспользуемся следующими формулами:

$$V_{PL} = \pi \cdot h_{PL} \cdot \left(\frac{D^2 - d^2}{4} \right) \quad (3)$$

$$\text{и} \quad V_{PL} = \pi \cdot h_{PL} \cdot \frac{D^2}{4} \quad (4)$$

, где h_{PL} , D и d - высота, внешний и внутренний диаметры поляризатора соответственно. Выбор радиуса сферического корпуса R будем осуществлять из условия (см. рисунок 3) $R > \sqrt{\left(\frac{D}{2}\right)^2 + \left(\frac{h_{PL}}{2}\right)^2}$, откуда его диаметр D_{CK} определится по формуле:

$$D_{CK} > \sqrt{D^2 + h_{PL}^2} \quad (5)$$

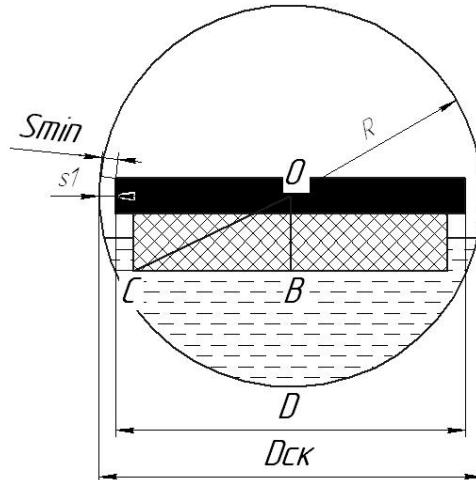


Рисунок 3 – Сферический корпус. Поясняющий рисунок

Также необходимо учитывать изменение объема рабочей жидкости, возникающее вследствие температурного расширения или сжимаемости

жидкости, с учетом которого неравенство (5) запишется следующим образом:

$$D_{CK} = k \cdot \sqrt{D^2 + h_{пл}^2} \quad (6)$$

где $k = 1 + \beta \cdot \Delta T$, где ΔT - рабочий диапазон изменения температур, а β - коэффициент объемного расширения жидкости, являющейся справочной величиной.

Так как расстояние s_1 вдоль горизонтальной линии симметрии сферического корпуса от поляризатора до волновода согласно рисунку 2 $s_1 = \frac{D_{CK} - D}{2}$, то учитывая формулу (6) получаем:

$$s_1 = \frac{k \cdot \sqrt{D^2 + h_{пл}^2} - D}{2} \quad (7)$$

Минимальное расстояние S_{min} определяется по формуле

$$S_{min} = \frac{\sqrt{D^2 + h_{пл}^2} \cdot (k - 1)}{2} \quad (8)$$

Радиус ПЭЦФ $R_{пэ}$ согласно рисунку определится по теореме Пифагора из ΔOBC неравенством: $R_{пэ} < \sqrt{R^2 - (h_{пэ} + \frac{h_{пл}}{2})^2}$, откуда его диаметр $D_{пэ}$ будет рассчитан по формуле:

$$D_{пэ} = \frac{1}{k} \cdot \sqrt{(\frac{D_{CK}}{2})^2 - (h_{пэ} + \frac{h_{пл}}{2})^2} \quad (9)$$

Значение диаметра $D_{пэ}$ ПЭСШ, согласно рисунку 1б, выбираем равным внешнему диаметру D поляризатора, то есть $D_{пэ} = D$.

Диаметр ПЭЦФ должен выбираться из условия $d < D_{пэ} < D$ для кольцевого и $D_{пэ} < D$ для дискового поляризатора соответственно.

Расстояние от волновода до поляризатора также зависят от глубина погружения в рабочую жидкость поплавкового элемента, что в свою очередь зависит от формы и размеров последнего, а также материала, из которого он изготовлен. Объем и масса поплавкового элемента диаметром $D_{пэ}$ и высотой $h_{пэ}$, указанных на рисунках 2 и 3 определится по формулам (10)-(13) соответственно:

а) для поплавкового элемента цилиндрической формы (ПЭЦФ):

$$V_{пэ} = \pi \cdot h_{пэ} \cdot \frac{D_{пэ}^2}{4} \quad (10); \quad m_{пэ} = \pi \cdot \rho_{пэ} \cdot h_{пэ} \cdot \frac{D_{пэ}^2}{4}$$

(11)

б) для поплавкового элемента в виде шарового слоя (ПЭШС):

$$V_{\text{ПЭ}} = \pi \cdot \left(\frac{(D_{\text{ПЭ}} - h_{\text{ПЛ}})^2 \cdot (2D_{\text{ПЭ}} + h_{\text{ПЛ}})}{24} - \frac{(D_{\text{ПЭ}} - 2h_{\text{ПЭ}} - h_{\text{ПЛ}})^2 \cdot (2D_{\text{ПЭ}} + 2h_{\text{ПЭ}} + h_{\text{ПЛ}})}{24} \right) \quad (12)$$

$$m_{\text{ПЭ}} = \pi \cdot \rho_{\text{ПЭ}} \cdot \left(\frac{(D_{\text{ПЭ}} - h_{\text{ПЛ}})^2 \cdot (2D_{\text{ПЭ}} + h_{\text{ПЛ}})}{24} - \frac{(D_{\text{ПЭ}} - 2h_{\text{ПЭ}} - h_{\text{ПЛ}})^2 \cdot (2D_{\text{ПЭ}} + 2h_{\text{ПЭ}} + h_{\text{ПЛ}})}{24} \right) \quad (13)$$

соответственно, где $\rho_{\text{ПЭ}}$ - плотность поплавкового элемента, являющаяся справочной величиной. В качестве материала для изготовления поплавковых элементов отечественными и зарубежными компаниями, такие, как "Сенсор", "Baluff", ОВЕН, Temposonics и другие используют эbonит, фторопласт, нержавеющие стали и т.д..

Таким образом, объединяя формулы (1-4) и (9-13) определяем условие, при котором дисковый (14) и (16) и кольцевой (15) и (17) поляризаторы будут располагаться над поверхностью рабочей жидкости.

а) для ПЭЦФ

$$\frac{4 \cdot m_{\text{ПЛ}} + \pi \cdot h_{\text{ПЭ}} \cdot D_{\text{ПЭ}}^2 \cdot \rho_{\text{ПЭ}}}{\pi \cdot (h_{\text{ПЭ}} \cdot D_{\text{ПЭ}}^2 + h_{\text{ПЛ}} \cdot D^2)} < \frac{\sum_{i=1}^n K_i \cdot \rho_i}{100\%} \quad (14)$$

$$\frac{4 \cdot m_{\text{ПЛ}} + \pi \cdot h_{\text{ПЭ}} \cdot D_{\text{ПЭ}}^2 \cdot \rho_{\text{ПЭ}}}{\pi \cdot (h_{\text{ПЭ}} \cdot D_{\text{ПЭ}}^2 + h_{\text{ПЛ}} \cdot (D^2 - d^2))} < \frac{\sum_{i=1}^n K_i \cdot \rho_i}{100\%} \quad (15)$$

б) для ПЭШС:

$$\frac{24m_{\text{ПЛ}} + \pi \cdot \rho_{\text{ПЭ}} \cdot (D_{\text{ПЭ}} - h_{\text{ПЛ}})^2 \cdot (2D_{\text{ПЭ}} + h_{\text{ПЛ}}) - \pi \cdot ((D_{\text{ПЭ}} - h_{\text{ПЛ}})^2 \cdot (2D_{\text{ПЭ}} + h_{\text{ПЛ}}) - (D_{\text{ПЭ}} - 2h_{\text{ПЭ}} - h_{\text{ПЛ}})^2 \times}{\pi \cdot ((D_{\text{ПЭ}} - h_{\text{ПЛ}})^2 \cdot (2D_{\text{ПЭ}} + h_{\text{ПЛ}}) - (D_{\text{ПЭ}} - 2h_{\text{ПЭ}} - h_{\text{ПЛ}})^2 \times} \rightarrow \quad (16)$$

$$\rightarrow \frac{-\pi \cdot \rho_{\text{ПЭ}} \cdot (D_{\text{ПЭ}} - 2h_{\text{ПЭ}} - h_{\text{ПЛ}})^2 \cdot (2D_{\text{ПЭ}} + 2h_{\text{ПЭ}} + h_{\text{ПЛ}})}{\times (2D_{\text{ПЭ}} + 2h_{\text{ПЭ}} + h_{\text{ПЛ}}) + 6 \cdot h_{\text{ПЛ}} \cdot D^2} < \frac{\sum_{i=1}^n K_i \cdot \rho_i}{100\%}$$

$$\frac{24m_{\text{ПЛ}} + \pi \cdot \rho_{\text{ПЭ}} \cdot (D_{\text{ПЭ}} - h_{\text{ПЛ}})^2 \cdot (2D_{\text{ПЭ}} + h_{\text{ПЛ}}) - \pi \cdot ((D_{\text{ПЭ}} - h_{\text{ПЛ}})^2 \cdot (2D_{\text{ПЭ}} + h_{\text{ПЛ}}) - (D_{\text{ПЭ}} - 2h_{\text{ПЭ}} - h_{\text{ПЛ}})^2 \times}{\pi \cdot ((D_{\text{ПЭ}} - h_{\text{ПЛ}})^2 \cdot (2D_{\text{ПЭ}} + h_{\text{ПЛ}}) - (D_{\text{ПЭ}} - 2h_{\text{ПЭ}} - h_{\text{ПЛ}})^2 \times} \rightarrow \quad (17)$$

$$\rightarrow \frac{-\pi \cdot \rho_{\text{ПЭ}} \cdot (D_{\text{ПЭ}} - 2h_{\text{ПЭ}} - h_{\text{ПЛ}})^2 \cdot (2D_{\text{ПЭ}} + 2h_{\text{ПЭ}} + h_{\text{ПЛ}})}{\times (2D_{\text{ПЭ}} + 2h_{\text{ПЭ}} + h_{\text{ПЛ}}) + 6 \cdot h_{\text{ПЛ}} \cdot (D^2 - d^2))} < \frac{\sum_{i=1}^n K_i \cdot \rho_i}{100\%}$$

Из формул (1-4) и (9-13) следует, что средняя плотность поляризатора и поплавкового элемента будет вычисляться по формулам:

а) для дискового и кольцевого поляризатора с использованием ПЭЦФ соответственно:

$$\langle \rho \rangle = \frac{4 \cdot m_{\text{пл}} + \pi \cdot h_{\text{пл}} \cdot D_{\text{пл}}^2 \cdot \rho_{\text{пл}}}{\pi \cdot (h_{\text{пл}} \cdot D_{\text{пл}}^2 + h_{\text{пл}} \cdot D^2)} \quad (18)$$

$$\text{и } \langle \rho \rangle = \frac{4 \cdot m_{\text{пл}} + \pi \cdot h_{\text{пл}} \cdot D_{\text{пл}}^2 \cdot \rho_{\text{пл}}}{\pi \cdot (h_{\text{пл}} \cdot D_{\text{пл}}^2 + h_{\text{пл}} \cdot (D^2 - d^2))} \quad (19)$$

б) для дискового и кольцевого поляризатора с использованием ПЭШС соответственно:

$$\begin{aligned} \langle \rho \rangle &= \frac{24m_{\text{пл}} + \pi \cdot \rho_{\text{пл}} \cdot (D_{\text{пл}} - h_{\text{пл}})^2 \cdot (2D_{\text{пл}} + h_{\text{пл}}) -}{\pi \cdot ((D_{\text{пл}} - h_{\text{пл}})^2 \cdot (2D_{\text{пл}} + h_{\text{пл}}) - (D_{\text{пл}} - 2h_{\text{пл}} - h_{\text{пл}})^2 \times} \\ &\rightarrow \frac{-\pi \cdot \rho_{\text{пл}} \cdot (D_{\text{пл}} - 2h_{\text{пл}} - h_{\text{пл}})^2 \cdot (2D_{\text{пл}} + 2h_{\text{пл}} + h_{\text{пл}})}{(2D_{\text{пл}} + 2h_{\text{пл}} + h_{\text{пл}}) + 6 \cdot h_{\text{пл}} \cdot D^2} \end{aligned} \quad (20)$$

$$\begin{aligned} \langle \rho \rangle &= \frac{24m_{\text{пл}} + \pi \cdot \rho_{\text{пл}} \cdot (D_{\text{пл}} - h_{\text{пл}})^2 \cdot (2D_{\text{пл}} + h_{\text{пл}}) -}{\pi \cdot ((D_{\text{пл}} - h_{\text{пл}})^2 \cdot (2D_{\text{пл}} + h_{\text{пл}}) - (D_{\text{пл}} - 2h_{\text{пл}} - h_{\text{пл}})^2 \times} \\ &\rightarrow \frac{-\pi \cdot \rho_{\text{пл}} \cdot (D_{\text{пл}} - 2h_{\text{пл}} - h_{\text{пл}})^2 \cdot (2D_{\text{пл}} + 2h_{\text{пл}} + h_{\text{пл}})}{(2D_{\text{пл}} + 2h_{\text{пл}} + h_{\text{пл}}) + 6 \cdot h_{\text{пл}} \cdot (D^2 - d^2))} \end{aligned} \quad (21)$$

Расчет глубины погружения $h_{\text{пл}}$ для ПЭЦФ и ПЭШС будет осуществляться по формулам (17) и (18) соответственно:

$$h_{\text{пл}} = \frac{\rho_{\text{пл}} \cdot (h_{\text{пл}} + \frac{4 \cdot m_{\text{пл}}}{\pi \cdot \rho_{\text{пл}} \cdot D_{\text{пл}}^2})}{\pi(4 \cdot (h_{\text{пл}} + 2h_{\text{пл}})^2 - 9(h_{\text{пл}} + 2h_{\text{пл}}) \cdot ((h_{\text{пл}} + 2h_{\text{пл}})^2 - D_{\text{пл}}^2)) - 72V_{\text{пл}}} \quad (22)$$

$$\begin{aligned} h_{\text{пл}} &= \sqrt[3]{\frac{-\frac{\pi(4 \cdot (h_{\text{пл}} + 2h_{\text{пл}})^2 - 9(h_{\text{пл}} + 2h_{\text{пл}}) \cdot ((h_{\text{пл}} + 2h_{\text{пл}})^2 - D_{\text{пл}}^2)) - 72V_{\text{пл}}}{48\pi} +}{\left(\frac{-(h_{\text{пл}} + 2h_{\text{пл}})^2 + (h_{\text{пл}} + 2h_{\text{пл}})^2 - D_{\text{пл}}^2}{4}\right)^3 +}} + \\ &+ \sqrt[3]{\frac{+\frac{(-2\pi(h_{\text{пл}} + 2h_{\text{пл}})^3 + 3\pi(h_{\text{пл}} + 2h_{\text{пл}})((h_{\text{пл}} + 2h_{\text{пл}})^2 - D_{\text{пл}}^2) + 24 \cdot V_{\text{пл}})}{16\pi}^2}{\left(\frac{-(h_{\text{пл}} + 2h_{\text{пл}})^2 + (h_{\text{пл}} + 2h_{\text{пл}})^2 - D_{\text{пл}}^2}{4}\right)^3 +}} + \\ &- \sqrt[3]{\frac{-\frac{\pi(4 \cdot (h_{\text{пл}} + 2h_{\text{пл}})^2 - 9(h_{\text{пл}} + 2h_{\text{пл}}) \cdot ((h_{\text{пл}} + 2h_{\text{пл}})^2 - D_{\text{пл}}^2)) - 72V_{\text{пл}}}{48\pi} -}{\left(\frac{-(h_{\text{пл}} + 2h_{\text{пл}})^2 + (h_{\text{пл}} + 2h_{\text{пл}})^2 - D_{\text{пл}}^2}{4}\right)^3 +}} + \\ &+ \sqrt[3]{\frac{+\frac{(-2\pi(h_{\text{пл}} + 2h_{\text{пл}})^3 + 3\pi(h_{\text{пл}} + 2h_{\text{пл}})((h_{\text{пл}} + 2h_{\text{пл}})^2 - D_{\text{пл}}^2) + 24 \cdot V_{\text{пл}})}{16\pi}^2}{\left(\frac{-(h_{\text{пл}} + 2h_{\text{пл}})^2 + (h_{\text{пл}} + 2h_{\text{пл}})^2 - D_{\text{пл}}^2}{4}\right)^3 +}} + \\ &+ \frac{(h_{\text{пл}} + 2h_{\text{пл}})}{2} \end{aligned} \quad (23)$$

, где $V_{\text{пл}}$ - объем части поплавкового элемента, погруженной в рабочую жидкость, для ПЭЦФ и ПЭШС определяемые по формулам (24) и (25) соответственно:

$$V_{\pi} = \frac{\pi \cdot D_{\pi\pi}^2 \cdot h_{\pi}}{4} \quad (24)$$

$$V_{\pi} = \frac{(\pi \cdot \rho_{\pi\pi} \cdot (D_{\pi\pi} - h_{\pi\pi})^2 \cdot (2D_{\pi\pi} + h_{\pi\pi}) - \pi \cdot \rho_{\pi\pi} \cdot (D_{\pi\pi} - 2h_{\pi\pi} - h_{\pi\pi})^2 \cdot (2D_{\pi\pi} + 2h_{\pi\pi} + h_{\pi\pi}) + 24m_{\pi\pi}) \cdot \langle \rho \rangle}{24\rho_{\pi\pi} \cdot \rho_{\pi\pi}} \quad (25)$$

Выведем формулу для расчета объема рабочей жидкости, необходимой для достижения минимального расстояния между поляризатором и волноводом.

Объем рабочей жидкости найдем, вычитая из полученного объема шарового сегмента V_c объем части поплавкового элемента V_{π} , погруженного в рабочую жидкость.

$$V_{\pi\pi} = V_c - V_{\pi} \quad (26)$$

Объем шарового сегмента V_c высотой h_c определяется по формуле где R - радиус сферического корпуса.

$$V_c = \pi \cdot h_c^2 \cdot (R - \frac{h_c}{3}) \quad (27)$$

Высота h_c , согласно рисунку 2, определяется по формуле:

$$h_c = (R - \frac{h_{\pi\pi}}{2} - h_{\pi\pi} + h_{\pi}) \quad (28)$$

Решая совместно уравнения (20-28) получаем формулу для расчета объема рабочей жидкости ПЭЦФ и ПЭШС соответственно:

$$V_{\pi\pi} = (\frac{\pi \cdot ((D_{ck} - h_{\pi\pi} - 2h_{\pi\pi} + 2h_{\pi})^2 \cdot (2D_{ck} + h_{\pi\pi} + 2h_{\pi\pi} - 2h_{\pi}) - 6 \cdot D_{\pi\pi}^2 \cdot d_{\pi})}{24}) \quad (29)$$

$$V_{\pi\pi} = (\frac{\pi \cdot (D_{ck} - h_{\pi\pi} - 2h_{\pi\pi} + 2h_{\pi})^2 \cdot (2D_{ck} + h_{\pi\pi} + 2h_{\pi\pi} - 2h_{\pi})}{24} - \frac{(\pi \cdot \rho_{\pi\pi} \cdot (D_{\pi\pi} - h_{\pi\pi})^2 \cdot (2D_{\pi\pi} + h_{\pi\pi})}{24\rho_{\pi\pi} \cdot \rho_{\pi\pi}} + \frac{\pi \cdot \rho_{\pi\pi} \cdot (D_{\pi\pi} - 2h_{\pi\pi} - h_{\pi\pi})^2 \cdot (2D_{\pi\pi} + 2h_{\pi\pi} + h_{\pi\pi}) + 24m_{\pi\pi}) \cdot \langle \rho \rangle}{24\rho_{\pi\pi} \cdot \rho_{\pi\pi}}) \quad (30)$$

, где D_{ck} - диаметр сферического корпуса первичного преобразователя.

Исходя из всего написанного ранее, авторами статьи был разработана программа по расчету конструкции первичного преобразователя "Расчет ДМН", экранная форма которого приведена на рисунке 4.

7 Вариант ДМН с использованием сферического корпуса

Входные данные			
Форма ПМ	Кольцевой	Внешний диаметр ПМ (Dm), мм	110
Материал для ПЭ	Вспененный эбонит	Внутренний диаметр ПМ (d1), мм	90
Режим расчета	Ручной	Высота ПМ (h1), мм	5
Расположение ПМ	На поверхности ПЭ	Толщина стенки ПЭ (d1), мм	0,5
Марка ЗП	42ХТИО	Толщина корпуса (u), мм	2
Марка ПМ	NdFeB	Диаметр ЗП (dЭП), мм	1
Для ручного расчета		Рабочая жидкость:	
Если ПМ находится на поверхности ПЭ		Спирт, %	20
Отношение Dпз к Dm		Глицерин, %	80
		Диапазон изменения температуры dt, К	40
		Амплитуда токового импульса записи ix, мА	50
Для автоматического расчета			
Если ПМ находится на поверхности ПЭ		Введите шаг h, мм	0,1
Отношение Dпз к Dm			

Выходные данные			
Объем РЖ, л	0,186055665420523	Плотность (ПЭ+М), кг/м ³	881,64573861638
Диаметр СК с учетом расширения жидкости, мм	113	Плотность РЖ, кг/м ³	1168
Диаметр СК без учета расширения жидкости, мм	110,113577727726	Расстояния	
		hmin, мм	2,886422722738
		hmax, мм	3
		Масса ПМ, г	116,238928182822
		Объем ПМ, мм ³	15707,963267949
		Диаметр ПЭ (Dпз), мм	104,5
		Высота ПЭ (hпз), мм	18,9
		Глубина погружения (hпогр), мм	15,648804176638

Рекомендуемые значения			
Mmin, A/m	+	Mmax, A/m	+
Mоптmin, A/m	+	Mоптmax, A/m	+

Рисунок 4 – Экранная форма программы по расчету первичного преобразователя ДМН.

В ней в качестве поплавкового элемента рассматривались ПЭ, изготовленные из пробки и пенопласта марки М35. В качестве рабочей жидкости использовалась смесь, состоящая из 80% глицерина и 20% спирта.

Вывод. Результаты расчетов, полученные программно для различных диаметров поляризаторов и сферических корпусов что при выборе сферического корпуса диаметром менее 50 мм расстояние между волноводом и поляризатором достигает 5% от внешнего диаметра, что свидетельствует о необходимости его выбора при расчетах исходя из условия $D_{CK} > 50\text{мм}$. При увеличении диаметра это значение уменьшается. Также стоит отметить, что значительное увеличение диаметра позволяет уменьшить это отношение, но и способствует увеличению массы как поляризатора, так и двухкоординатных преобразователей угловых перемещений в целом. Как показывают результаты моделирования программы, наиболее приемлемым для моделирования авторы видят выбор диаметра сферического корпуса в интервале 90-120 мм, что отображено в таблицах 1 и 2.

Таблица 1 – Входные данные программы “Расчет ДМН”,

№ п/п	Входные данные для расчетов						
	Поляризатор				Поплавковый элемент		$\Delta T, K$
	Внешний диаметр D, mm	Внутренний диаметр d, mm	Высота h, mm	Материал	Материал	форма	
1.	100	90	6	Nd-Fe-B	Пробка	цилиндр	20
2.	100	90	6	Nd-Fe-B	Пробка	сегм. сф.	20
3.	100	90	6	SmCo	Пробка	цилиндр	20
4.	100	90	6	Альнико	Пробка	сегм. сф.	20
5.	100	90	6	Nd-Fe-B	П/П М35	цилиндр	20
6.	110	90	6	Nd-Fe-B	Пробка	цилиндр	20
7.	110	90	6	Nd-Fe-B	Пробка	сегм. сф.	20
8.	110	90	6	SmCo	Пробка	цилиндр	20
9.	110	90	6	Nd-Fe-B	П/П М35	цилиндр	20
10.	120	100	6	Nd-Fe-B	Пробка	сегм. сф.	20
11.	120	100	6	SmCo	Пробка	цилиндр	20
12.	120	100	6	Альнико	Пробка	сегм. сф.	20
13.	120	100	6	Nd-Fe-B	П/П М35	цилиндр	20
14.	120	100	6	Nd-Fe-B	П/П М35	сегм. сф.	20
15.	120	100	6	Альнико	П/П М35	цилиндр	20
16.	120	100	6	Альнико	П/П М35	сегм. сф.	20
17.	20	18	2	Nd-Fe-B	Пробка	цилиндр	20
18.	20	18	2	SmCo	Пробка	цилиндр	20
19.	20	18	2	Альнико	Пробка	цилиндр	20
20.	20	18	2	Nd-Fe-B	П/П М35	цилиндр	20

Таблица 2 – Выходные данные программы “Расчет ДМН”

№ п/ п	Рассчитанные данные							
	Сфери- ческий корпус	Рабочая жидкость		Поплавковый элемент			Ср. плот- ность ПЭ+ ПЛ	Расстояние от края ПЛ до зву- копровода
	Диаметр	Средняя плотность	Объем, л	Вы- сота, мм	Диа- метр, мм	Глубина погруже- ния, мм		h_{minm} м
1	102	1168	0,1689	11,1	98	9,90	959,41	1,82 2
2	102	1168	0,1393	11,1	100	9,81	936,69	1,82 2
3	102	1168	0,1695	11,1	98	8,14	1037,3	1,82 2
4	102	1168	0,1403	11,1	100	8,08	1032,7	1,82 2
5	102	1168	0,1687	11,1	98	9,49	902,09	1,82 2
6	102	1168	0,1389	11,1	100	9,43	898,28	1,82 2
11	102	1168	0,1676	11,1	98	7,36	699,73	1,82 2
12	102	1168	0,1365	11,1	100	7,32	695,79	1,82 2
13	112	1168	0,1549	23,1	99	20,46	935,30	1,84 2
14	112	1168	0,1361	23,1	110	19,24	863,21	1,84 2
25	122	1168	0,1952	25,3	108	29,53	837,12	1,85 2
26	122	1168	0,1784	25,3	108	28,14	773,55	1,85 2
27	122	1168	0,1997	25,3	108	21,69	919,24	1,85 2
28	122	1168	0,1804	25,3	108	19,84	846,78	1,85 2
33	122	1168	0,1887	25,3	108	16,84	713,63	1,85 2
34	122	1168	0,1732	25,3	108	16,07	639,18	1,85 2
35	122	1168	0,1833	25,3	108	14,13	598,67	1,85 2
36	122	1168	0,1688	25,3	108	13,24	536,67	1,85 2

37	21	1168	0,0011	3,6	18,8	3,495	1013,00	0,90	1
38	21	1168	0,00098	4,2	18,2	4,199	1052,74	0,90	1
39	21	1168	0,00106	3,6	18,8	3,348	970,31	0,90	1
40	21	1168	0,00103	3,6	18,8	2,805	812,90	0,90	1

ЛИТЕРАТУРА

- Воронцов А.А. Исследование изменения быстродействия при удаленном подключении по сети интернет к рабочему столу виртуальной машины частного облака ПензГТУ. XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. 2016. № 3 (31). С. 173-178.
- Мартышкин А.И., Бикташев Р.А., Воронцов А.А. Численный метод для определения пропускной способности приоритетного потока заявок в многопроцессорной системе с общим диспетчером задач по каждому конкретному типу приоритета. XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. Пенза: ПензГТУ. - 2014. № 3 (19). С. 137-145.

УДК 519.711.3

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЕКЦИИ НА ОСЬ OZ НАПРЯЖЕННОСТИ МАГНИТНОГО ПОЛЯ СОЛЕНОИДА В КОНСТРУКЦИЯХ МАГНИТОСТРИКЦИОННЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ УГЛОВЫХ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ

А.А. Воронцов¹, А.В. Назаренко²

¹доцент кафедры "Вычислительные машины и системы", к.т.н., Пензенский Государственный Технологический Университет, г. Пенза, Россия, e-mail: aleksander.vorontsov@gmail.com

²студент гр.19ИВ1м, Пензенский Государственный Технологический Университет, г. Пенза, Россия, e-mail: anynazar@yandex.ru

Аннотация. В данной статье подробно рассмотрен анализ основных параметров соленоида, влияющих на формирование магнитных полей, сформированных при протекании в среде волновода токового импульса. Проведено математическое моделирование магнитного поля соленоида при изменении координаты, отсчитанной по оси OZ от его центра для различных значений радиусов и длины соленоида.

Ключевые слова: соленоид, напряженность магнитного поля, магнитное поле соленоида, зависимость напряженности от координаты Z.

RESEARCH OF THE OZ-AXIS PROJECTION OF THE MAGNETIC FIELD STRENGTH OF THE SOLENOID IN THE DESIGNS OF MAGNETO-STRICK CONVERTERS OF ANGULAR DISPLACEMENTS

A.A. Vorontsov¹, A.V. Nazarenko²

¹lecturer of department "Computers and Systems", Ph.D., Penza State Technological University, s. Penza, Russia, e-mail: aleksander.vorontsov@gmail.com

²student, gr.19IV1m, Penza State Technological University, s. Penza, Russia, e-mail: anynazar@yandex.ru

Abstract. In given article the analysis of key parametres of the solenoid influencing formation of magnetic fields, generated is in detail considered at course in impulse environment. It is spent mathematical modelling of a magnetic field of the solenoid at change of the co-ordinate counted on axis OZ from its centre for various values of radiuses and length of the solenoid.

Keywords: *The solenoid; intensity of a magnetic field; solenoid magnetic field; dependence of intensity on coordinate Z.*

Введение. Современные объемы строительства неразрывно связаны с внедрением последних достижений науки в области строительной техники. Особое внимание уделяется приборам, предназначенным для предотвращения аварийной ситуации. Составляющей таких приборов являются наклономеры, необходимые для определения угла отклонения объекта относительно вертикали или горизонтали. Требования, предъявляемые к таким приборам различны, и зависят от области их применения. Однако главными из них остаются высокая точность и разрешающая способность, широкий диапазон преобразования, низкая стоимость и относительная простота конструкции.

Наиболее привлекательными по перечисленным требованиям являются магнитострикционные преобразователи угловых перемещений, в том числе один из их под классов – двухкоординатные магнитострикционные преобразователи угловых перемещений (ДМПУП)[1-11].

Для воспроизведения информационного сигнала в ДМПУП возможно использование соленоида. Напряженность магнитного поля соленоида определяется многими параметрами конструкции как ДМПУП, так и самого соленоида.

В соответствии с одной из моделей, поле H_{cz} на оси соленоида в точке, отстоящей на расстояние z от его центра, определяется по формуле:

$$H_{cz}(z) = \frac{nI}{4(R_{2c} - R_{1c})} \left\{ (l-z) \ln \frac{R_{2c} + \sqrt{R_{2c}^2 + (l-z)^2}}{R_{1c} + \sqrt{R_{1c}^2 + (l-z)^2}} + (l+z) \ln \frac{R_{2c} + \sqrt{R_{2c}^2 + (l+z)^2}}{R_{1c} + \sqrt{R_{1c}^2 + (l+z)^2}} \right\}, \quad (1)$$

где $n=N/L$ - число витков на единицу длины соленоида, R_{1c} и R_{2c} - соответственно внутренний и внешний радиусы соленоида, $2l=L$ - длина соленоида, j - плотность тока: $j=l/s$, l - ток через провод, s - площадь поперечного сечения провода.

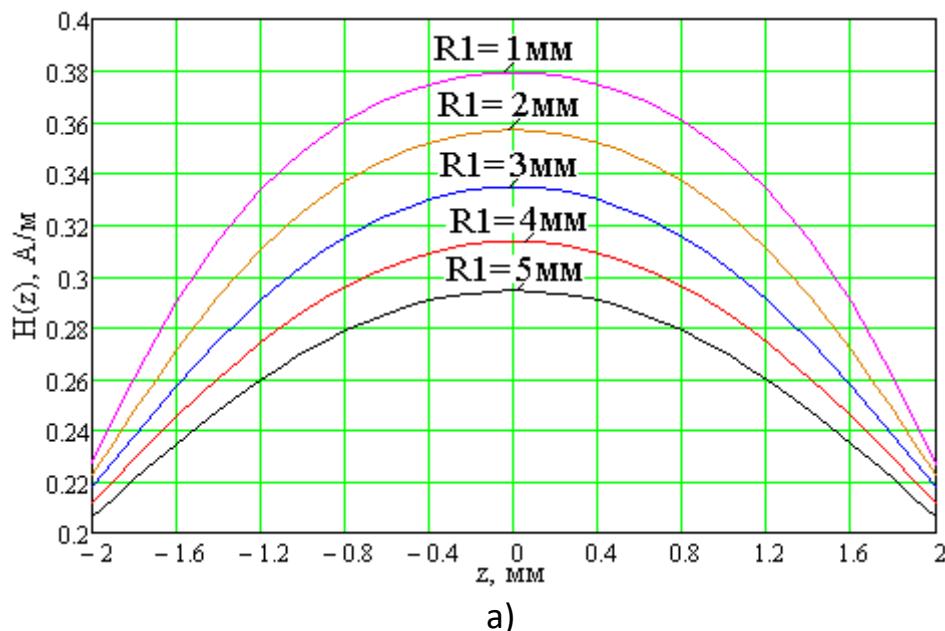
Анализ формулы (1) позволяет сделать вывод о нелинейной зависимости напряженности магнитного поля H_{cz} на оси соленоида от расстояния от его центра до текущей координаты z .

Цель работы.

Целью данной статьи является исследование напряженности магнитного поля H_{cz} на оси соленоида от расстояния от его центра до текущей координаты z .

Материал и результаты исследований. Для исследования зависимости магнитного поля H_{cz} от текущей координаты z на оси соленоида было проведено математическое моделирование формулы (1) при изменении координаты z в диапазоне $-L/2 \leq z \leq L/2$ для различных значений R_{1c} , R_{2c} и L , результаты которого приведены на рисунках 1а-б и 2 соответственно.

В качестве базовых параметров при моделировании будем использовать соленоид с внутренним и внешним радиусами $R_{1c}=2\text{мм}$ и $R_{2c}=3\text{мм}$ соответственно, длиной $L=4\text{мм}$, количеством витков на единицу длины $n=1$, с постоянным значением токового импульса $l=1\text{А}$.



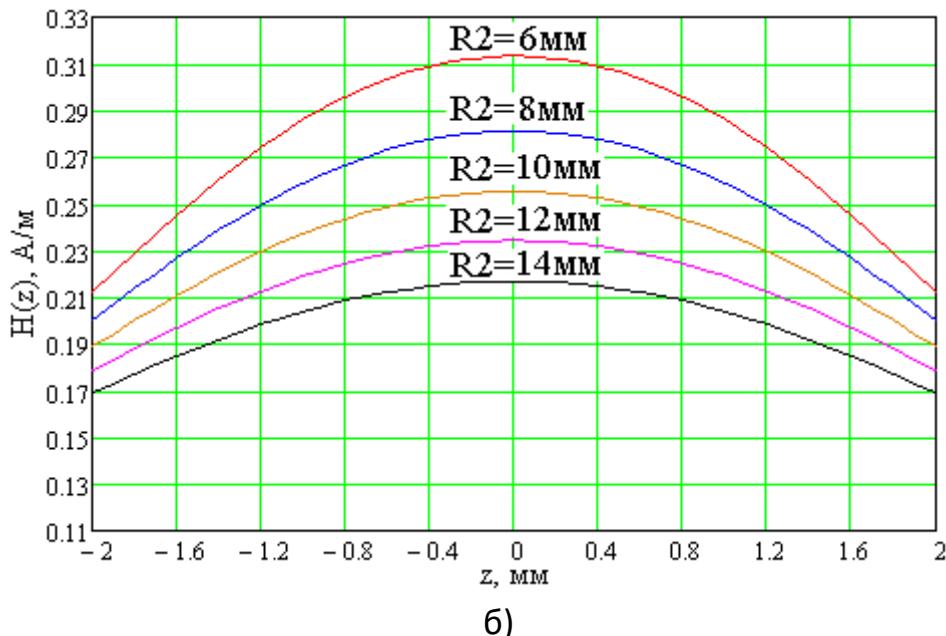


Рисунок 1 – Распределение относительной величины магнитного поля по оси соленоида в точке, отстоящей на расстоянии z от его центра при различных значениях внутреннего(а) и внешнего(б) диаметров соленоида

Результаты моделирования зависимости напряженности магнитного поля H_{cz} от координаты z , приведенные на рисунках 1а-б соответственно для различных значений внешнего и внутреннего диаметра, показали, что максимальное значение напряженности магнитного поля H_{cz} для указанных значений параметров конструкции наблюдается в центре соленоида, т.е. при $z=0$ и может достигать значений от нескольких А/м до кА/м в зависимости от количества витков и значения токового импульса I , а также других параметров как соленоида, так и волновода.

Уменьшение значения внутреннего R_{1c} и внешнего R_{2c} радиусов соленоида, как это демонстрируют результаты моделирования, приведенные на рисунках 1а-б соответственно, способствуют увеличению значения напряженности магнитного поля в центре соленоида и более резкому уменьшению ее значения при удалении от центра.

При изменении длины соленоида L , как это показано на рисунке 2, происходит существенное смещение максимального значения напряженности H_{cz} относительно начала отсчета координаты z , совмещенного с центром соленоида. Так, в приведенных на рисунке 2 результатах моделирования, при увеличении длины соленоида с $L_1=4\text{мм}$ до $L_2=12\text{мм}$ положение максимума напряженности H_{cz} смещается с $z=0$ до $z=2,5\text{мм}$.

Также необходимо отметить, что изменение длины соленоида незначительно изменяет максимальное значение напряженности магнитного поля H_{cz} . Для приведенного примера изменение составило с $H_{cz}=0,31\text{А/м}$

до $H_{cz}=0,34\text{А/м}$, т.е. менее 10%, при изменении длины соленоида в 3 раза с $L_1=4\text{мм}$ до $L_2=12\text{мм}$.

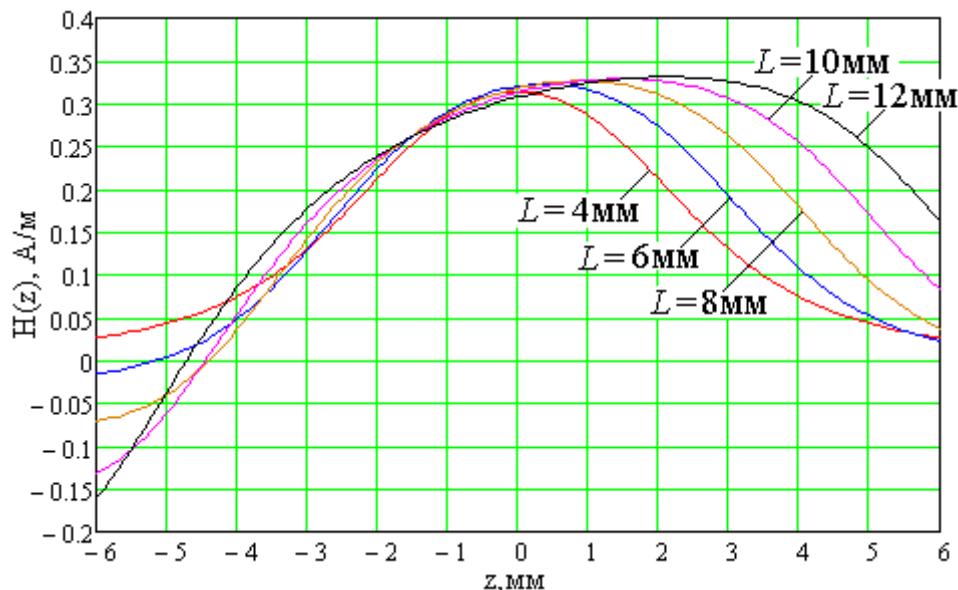


Рисунок 2 – Распределение относительной величины магнитного поля по оси соленоида в точке, отстоящей на расстоянии z от его центра при различных значениях длины соленоида

Вывод. Таким образом, на основании исследования зависимости магнитного поля H_{cz} от текущей координаты z на оси соленоида, можно сделать вывод, что для изменения максимального значения напряженности магнитного поля соленоида H_{cz} , наиболее эффективными методами являются изменение его внешнего и внутреннего радиусов и количества витков, а также значения токового импульса I .

Для изменения положения максимального значения напряженности магнитного поля соленоида H_{cz} , эффективным способом является изменение его длины L .

ЛИТЕРАТУРА

1. Воронцов А.А. Исследование изменения быстродействия при удаленном подключении по сети интернет к рабочему столу виртуальной машины частного облака ПензГТУ. XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. 2016. № 3 (31). С. 173-178.

2. Мартышкин А.И., Бикташев Р.А., Воронцов А.А. Численный метод для определения пропускной способности приоритетного потока заявок в многопроцессорной системе с общим диспетчером задач по каждому конкретному типу приоритета. XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. Пенза: ПензГТУ. - 2014. № 3 (19). С. 137-145.

3. Прошкин В.Н. Конструкторско-технологические способы совершенствования магнитострикционных преобразователей линейных перемещений для специальных условий эксплуатации: Дис....канд. техн. наук. – Астрахань, 2007. – 229 с.
4. Воронцов, А.А. Двумерная модель формирования сигнала воспроизведения магнитострикционного наклономера / Ю.Н. Слесарев, А.А. Воронцов // Известия Пензенского государственного педагогического университета. Физико-математические и технические науки. – 2012. – № 30. – С. 462–466.
5. Воронцов, А.А. Математическое моделирование магнитных полей двухкоординатных магнитострикционных наклономеров, содержащих кольцевой или сплошной постоянный магнит / Ю.Н. Слесарев, А.А. Воронцов, Э.В. Карпухин // Известия Пензенского государственного педагогического университета. Физико-математические и технические науки. – 2012. – № 30. С. 467–472.
6. Воронцов А.А. Моделирование магнитной системы конструкций двухкоординатных магнитострикционных наклономеров с расположением магниточувствительных элементов под углом 90 градусов / Ю.Н. Слесарев, А.А. Воронцов, С.В. Родионов, А.М. Зелик // В сб.: Новое слово в науке: перспективы развития Сборник материалов международной научно–практической конференции. Чебоксары, 2014. С. 238 – 240.
7. Прецизионные сплавы. Справочник /Под ред. Молотилова Б.В. -М.: Металлургия, 1983.-439 с.
8. Голямина И.П. Ультразвук. Маленькая энциклопедия. – М.: Советская энциклопедия, 1979. – 400 с.
9. Немцов М.В. Справочник по расчету параметров катушек индуктивности/ М.В. Немцов, Ю.М. Шамаев. – М.: Энергоиздат, 1981. – 136 с.
10. Слесарев Ю.Н. Реверсивные методы записи для оптических дисковых накопителей: Дис....д-ра техн. наук. – Пенза, 2004. – 342 с.
11. Воронцов А.А. Математическое моделирование магнитных полей в двухкоординатных магнито-стрикционных наклономерах: Дис....канд. техн. наук. – Пенза, 2013. – 160 с.

УДК 519.711.3

МОДЕЛИРОВАНИЕ МАГНИТНОЙ СИСТЕМЫ КОНСТРУКЦИЙ ДВУХКООРДИНАТНЫХ МАГНИТОСТРИКЦИОННЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ УГОЛОВЫХ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ

А.А. Воронцов¹, Д.С. Назаренко²

¹доцент кафедры "Вычислительные машины и системы", к.т.н., Пензенский Государственный Технологический Университет, г. Пенза, Россия, e-mail: aleksander.vorontsov@gmail.com

²студент гр.19ИВ1м, Пензенский Государственный Технологический Университет, г. Пенза, Россия, e-mail: anynazar@yandex.ru

Аннотация. выполнено моделирование магнитных полей двухкоординатных магнитострикционных преобразователей угловых перемещений, рассмотрены основные

формы и математические модели постоянных магнитов, используемых в новой конструкции преобразователей угловых перемещений.

Ключевые слова: магнитострикционный, двухкоординатный преобразователь угловых перемещений, угломер, магнитострикция, магнитное поле, моделирование магнитных полей.

MODELING OF A MAGNETIC SYSTEM OF STRUCTURES OF TWO-DIMENSIONAL MAGNETOSTRICTION CONVERTERS OF ANGULAR MOVEMENTS

A.A. Vorontsov¹, D.S. Nazarenko²

¹lecturer of department "Computers and Systems", Ph.D., Penza State Technological University, s. Penza, Russia, e-mail: aleksander.vorontsov@gmail.com

²student, gr.19IV1m, Penza State Technological University, s. Penza, Russia, e-mail: anynazar@yandex.ru

Abstract. The magnetic fields are simulated for two-coordinate magnetostrictive angular displacement transducers, the basic forms and mathematical models of permanent magnets used in the new design of angular displacement transducers are considered.

Keywords: magnetostrictive, two-coordinate angular displacement transducer, goniometer, magnetostriiction, magnetic field, modeling of magnetic fields.

Введение. Для определения положения различных высотных сооружений, плотин, определения величины прогибов и деформаций опор и балок, контроля углов наклона автомобильных и железных дорог при их строительстве, ремонте и эксплуатации, определения угла наклона дорожных грейдеров, асфальтоукладчиков, подъемников, кранов и экскаваторов применяются приборы, называемые преобразователями угловых перемещений. В последние годы для этих целей все чаще находят применение магнитострикционные преобразователи угловых перемещений (МПУП).

На данный момент наиболее проработанными являются математические модели и конструкции МПУП на продольных и крутильных УЗВ. МПУП на крутильных упругих УЗВ можно условно разделить на однокоординатные и двухкоординатные (ДМПУП), позволяющие измерение двух углов наклона во взаимно перпендикулярных плоскостях. Наименее проработанными по усмотрению авторов считаются модели и конструкции ДМПУП.

Одной из важных задач при проектировании ДМПУП является моделирование магнитных полей, решение которой обеспечивает повышение точности описания процессов преобразования измеряемых величин и позволяет оптимизировать конструктивные параметры ДМПУП. Попытка разра-

ботать математические модели магнитных полей ДМПУП была предпринята в работах [1-6], однако в ней было затронуто несколько конструкций ДМПУП.

Цель работы.

Целью данной статьи является моделирование магнитной системы новой конструкции ДМПУП.

Материал и результаты исследований.

В качестве объекта исследования выберем один из вариантов ДМПУП на УЗВ кручения, основной вид и вид сверху которой приведены на рисунках 1а и 1б соответственно.

Она состоит из следующих блоков: УС – усилитель считывания; М – постоянный магнит; АД – акустический демпфер; БКВ – блок кодирования и вычислений; МЧЭ – магниточувствительный элемент (магнитострикционный волновод); УЗ – усилитель записи; ГО – генератор опроса.

Следует отметить, что результирующее магнитное поле, формируемое ДМН, состоит из двух составляющих – созданной токовым импульсом при протекании им в среде волновода (ЗП) и созданной постоянным магнитом (ПМ). Последняя представляет наибольший интерес, так как она зависит от множества факторов, основными из которых являются форма и размеры ПМ, а также значение остаточной намагниченности B_r и коэрцитивной силы H_C . Оценить влияние каждого из них возможно методом математического моделирования. Это позволит улучшить характеристики ДМН и снизить его себестоимость.

В качестве формы будем использовать сплошной (СПМ) и кольцевой (КПМ) ПМ, так как они являются наиболее распространенными и выпускаются серийно.

Результирующее значение напряженности магнитного поля, согласно закону полного тока, определится по формуле [1]:

$$H_R^2 = H_Z^2 + H_i^2 \quad (1)$$

, где H_R - напряженность результирующего поля, H_Z - составляющая напряженности магнитного поля, созданная ПМ (проекцией на ось OZ) и рассчитываемая по формуле (7), H_i - составляющая напряженности магнитного поля, созданная токовым импульсом i при протекании им в среде ЗП;

$$H_i = \frac{i}{2 \cdot \pi \cdot R}, \text{ где } R \text{- радиус ЗП.}$$

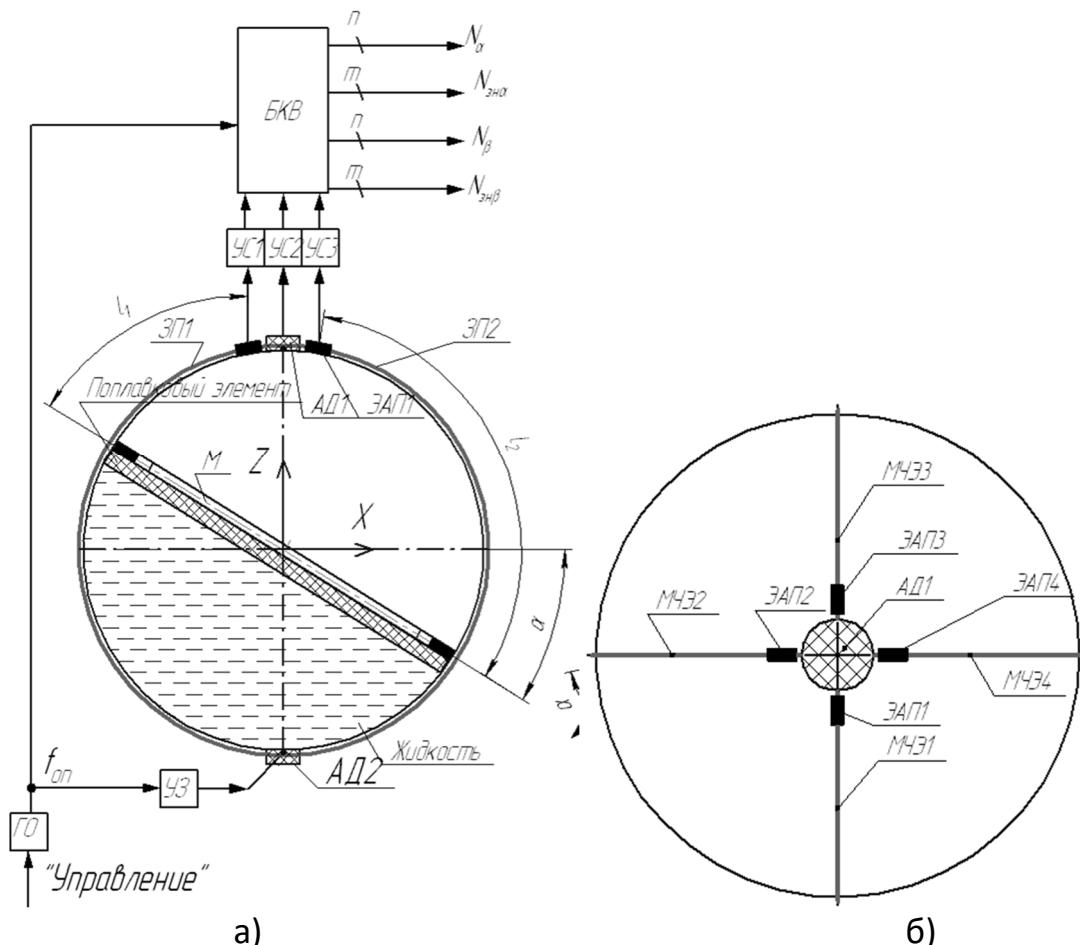


Рисунок 1 – Конструкция ДМПУП с использованием звукопроводов, расположенных под углом 90° а) основной вид и б) вид сверху

Проекция вектора напряженности магнитного поля на ось Z, созданного ПМ радиусом R_M и высотой h_M будет рассчитываться[1]:

$$H_z(r) = 4h_M \cdot M \int_{R_M}^{\infty} \frac{E(k_2)\rho \cdot d\rho}{[(r - \rho)^2 + \frac{h_M^2}{4}] \cdot [(r + \rho)^2 + \frac{h_M^2}{4}]^{\frac{1}{2}}}, \quad (2)$$

где $E(k_2) = \frac{\pi}{2} \int_0^{\frac{\pi}{2}} \sqrt{(1 - k_2^2(\sin \varphi)^2} d\varphi$ - полный эллиптический интеграл

$$\text{второго рода, } k_2^2 = \frac{4 \cdot r \cdot \rho}{(r + \rho)^2 + \frac{h_M^2}{4}}.$$

На основании формул (1) и (2) можно сделать вывод, что напряженность магнитного поля, созданная ПМ в разной степени зависит от его раз-

меров и величины остаточной намагниченности. Важность каждой из составляющих выражений (1) и (2) необходимо учитывать при разработке конструкций ДМПУП.

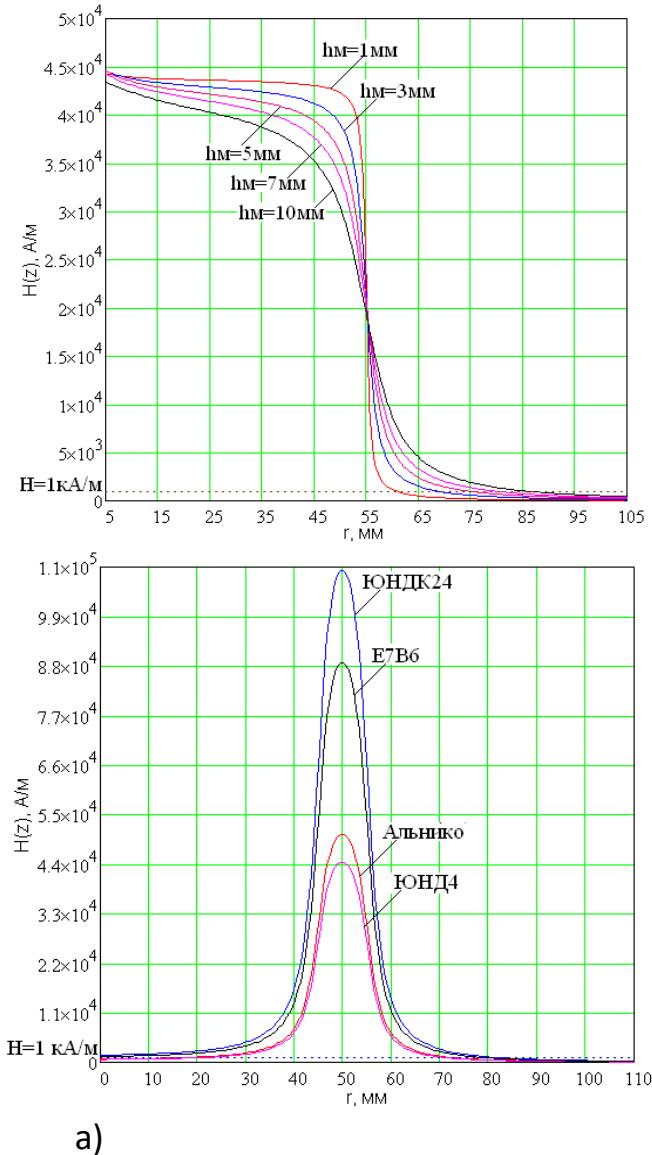


Рисунок 2 – Зависимость напряженности магнитного поля от высоты СПМ(а) и КПМ(б)

В ходе моделирования магнитного поля новой конструкции ДМПУП, приведенной на рисунке 1, было выявлено, что наиболее эффективным способом изменения напряженности магнитного поля вне ПМ является изменение значения высоты ПМ и остаточной индукции, определяемой маркой ПМ. Результаты моделирования приведены на рисунках 2 и 3.

Для моделирования в качестве основного был выбран СПМ и КПМ с размерами $D_M \times h_M = 110 \times 5 \text{ мм}$ и $D_M \times d_M \times h_M = 110 \times 90 \times 5 \text{ мм}$ соответ-

ственно со значением остаточной индукции $B_r=0,35\text{ Тл}$. Моделируемое значение напряженности определялось вдоль оси абсцисс, совмещенной с центром ПМ.

Необходимо отметить, что максимальное значение напряженности магнитного поля было зафиксировано на расстояниях от центра ПМ вдоль оси абсцисс $r = \frac{d_M + D_M}{4}$ и $r = 0$ для КПМ и СПМ соответственно.

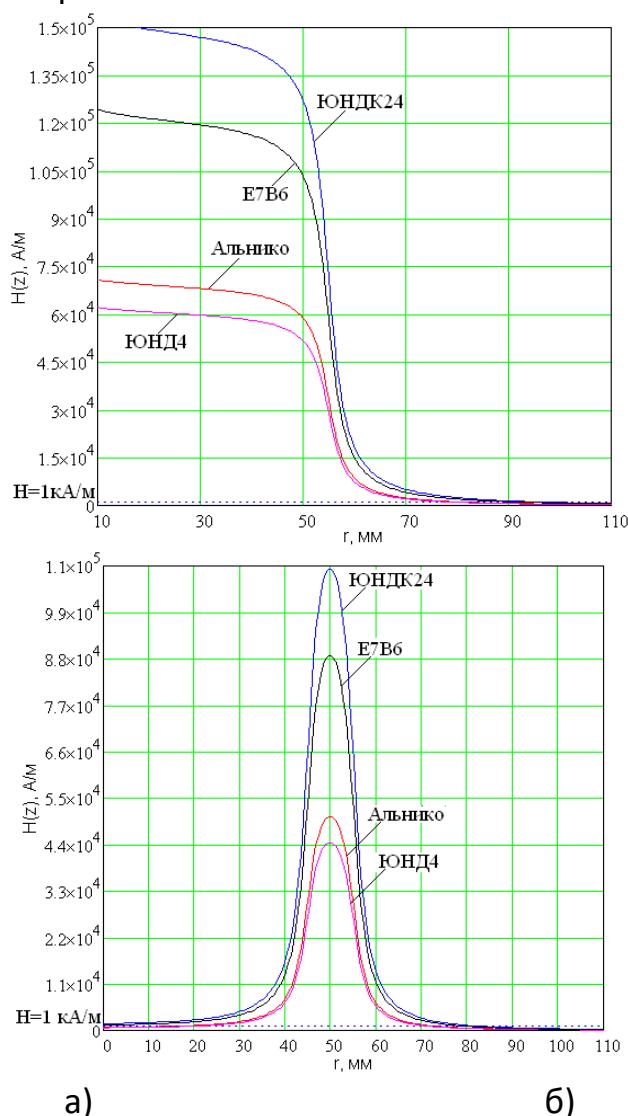


Рисунок 3 – Зависимость напряженности магнитного поля от марки СПМ(а) и КПМ(б)

Также следует отметить, что вследствие малости значений амплитуды токового импульса i составляющих несколько десятков миллиампер, значение напряженности магнитного поля H_i получается на несколько порядков меньше H_Z . Исходя из этого, можно сделать вывод, что результирующее

значение напряженности магнитного поля, рассчитываемое согласно выражению (1), для рассматриваемых на рисунках 2 и 3 случаев моделирования будет незначительно отличаться от значения напряженности H_Z .

Вывод. Таким образом, в результате проведенного моделирования было установлено, что магнитное поле ДМПУП фиксированной точке вне ПМ значительно изменяется при соответствующем изменении высоты и марки ПМ и незначительно при изменении внутреннего диаметра. Полученные в результате теоретического исследования математические формулы позволяют найти оптимальное значение параметров конструкции, что позволяет подобрать оптимальное значение массы и габаритов ДМПУП, уменьшая при этом его себестоимость изготовления.

ЛИТЕРАТУРА

1. Воронцов А.А. Исследование изменения быстродействия при удаленном подключении по сети интернет к рабочему столу виртуальной машины частного облака ПензГТУ. XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. 2016. № 3 (31). С. 173-178.
2. Мартышкин А.И., Бикташев Р.А., Воронцов А.А. Численный метод для определения пропускной способности приоритетного потока заявок в многопроцессорной системе с общим диспетчером задач по каждому конкретному типу приоритета. XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. Пенза: ПензГТУ. - 2014. № 3 (19). С. 137-145.
3. Прошкин В.Н. Конструкторско-технологические способы совершенствования магнитострикционных преобразователей линейных перемещений для специальных условий эксплуатации: Дис....канд. техн. наук. – Астрахань, 2007. – 229 с.
4. Воронцов, А.А. Двумерная модель формирования сигнала воспроизведения магнитострикционного наклономера / Ю.Н. Слесарев, А.А. Воронцов // Известия Пензенского государственного педагогического университета. Физико-математические и технические науки. – 2012. – № 30. – С. 462–466.
5. Воронцов, А.А. Математическое моделирование магнитных полей двухкоординатных магнитострикционных наклономеров, содержащих кольцевой или сплошной постоянный магнит / Ю.Н. Слесарев, А.А. Воронцов, Э.В. Карпухин // Известия Пензенского государственного педагогического университета. Физико-математические и технические науки. – 2012. – № 30. С. 467–472.
6. Слесарев Ю.Н. Реверсивные методы записи для оптических дисковых накопителей: Дис....д-ра техн. наук. – Пенза, 2004. – 342 с.

УДК 519.711.3

К ВОПРОСУ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ УГЛОМЕРОВ В СИСТЕМАХ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ СТРОИТЕЛЬНЫХ РАБОТ

А.А. Воронцов¹

¹ доцент кафедры "Вычислительные машины и системы", к.т.н., Пензенский Государственный Технологический Университет, г. Пенза, Россия, e-mail: aleksander.vorontsov@gmail.com

Аннотация. В данной статье подробно рассмотрены угломеры, принцип работы которых основан на различных физических эффектах, используемых в системах обеспечения безопасности строительных работ. Показано, что в зависимости от условий их работы необходимо осуществлять выбор конкретного из них. В заключении сделаны соответствующие выводы.

Ключевые слова: угломер, магнитострикция, использование угломеров, магнитострикционные угломеры.

TO THE QUESTION OF USE OF ANGLOMERS IN THE SYSTEMS OF SECURITY OF CONSTRUCTION OF CONSTRUCTION WORKS

A.A. Vorontsov¹

¹lecturer of department "Computers and Systems", Ph.D., Penza State Technological University, s. Penza, Russia, e-mail: aleksander.vorontsov@gmail.com

Abstract. This article discusses in detail goniometers, the principle of which is based on various physical effects used in safety systems for construction work. It is shown that, depending on the conditions of their work, it is necessary to select a specific one. In conclusion, the corresponding conclusions are made.

Keywords: goniometer, magnetostriiction, the use of goniometers, magnetostrictive goniometers.

Введение. Огромные масштабы строительства в настоящее время невозможны без обеспечения безопасности строительных работ, для чего необходимо использовать приборы или устройства, предназначенные для предотвращения аварийной ситуации. К таким приборам относятся угломеры, предназначенные для определения углов наклона объекта. Угломеры используются в строительстве для определения положения различных высотных сооружений, плотин, для определения величины прогибов и деформаций различного рода опор и балок, контроля углов наклона авто-

мобильных и железных дорог при их строительстве, ремонте и эксплуатации, определения угла наклона дорожных грейдеров, асфальтоукладчиков, подъемников, кранов и экскаваторов.

Цель работы.

Целью данной статьи является обзор угломеров, используемых для обеспечения безопасности строительных работ, принцип работы которых основан на различных физических эффектах.

Материал и результаты исследований.

Существуют следующие основные типы угломеров, используемые для обеспечения безопасности строительных работ:

1. Механические
2. Гидравлические
3. Оптико-механические (лазерные)
4. Электромеханические
5. Магнитострикционные

К механическим угломерам относится маятниковый угломер, принцип работы которого заключается в сохранении вертикального положения маятника при изменениях угла или углов наклона объекта. К данному типу угломеров относятся СКМ-3, ОНК-140 и др.

Принцип работы гидравлических угломеров основан на свойстве тел погружаться на дно жидкости или всплывать, занимая верхнее положение, в зависимости от плотности тела.

Наиболее распространенными являются гидравлические угломеры, содержащие корпус со сферической поверхностью с нанесенными на нее концентрическими окружностями, расположенными под определенным углом. Внутри корпуса, частично заполненного жидкостью, имеется пузырек воздуха, по расположению которого судят об угле наклона объекта относительно горизонта. Данный принцип работы используется в угломере КП-1.3, где одна риска соответствует одному градусу. Имеются также гидравлические угломеры, работающие на других принципах. Например, угломер УНШ-1, в котором вместо пузырька воздуха используется шарик, который перекатывается по внутренней сферической поверхности dna и указывает угол наклона. Диапазон измерения гидравлических угломеров достигает $\alpha = \pm 180^\circ$.

К электромеханическим относятся емкостные угломеры, принцип работы которых основан на изменении емкости при изменении угла наклона объекта. Емкостный однокоординатный угломер состоит из двух пластин, разделенных диэлектриком.

Так как емкость угломера С определяется по формуле $C = \frac{\varepsilon \varepsilon_0 S}{d}$, где ε - диэлектрическая проницаемость диэлектрика, S - площадь пластин, d - расстояние между пластинами, то для определения угла наклона используют изменение расстояния между пластинами, делая одну из них неподвижной, либо изменение площади контакта пластин с диэлектриком, используя в качестве диэлектрика вещество, сохраняющее при изменении угла горизонтальное положение, например жидкость.

Диапазон измерения емкостных угломеров составляет $\alpha = \pm 45^\circ$.

Принцип работы оптико-механических (лазерных) угломеров основан либо на изменении угла отражения светового пучка от поверхности, либо на явлении интерференции, когда угол наклона объекта определяют подсчетом количества интерференционных полос. Диапазон измерения лазерных инклинометров составляет $\alpha = \pm 180^\circ$. Основным достоинством является небольшая погрешность измерений, достигающая менее одной тысячной секунды.

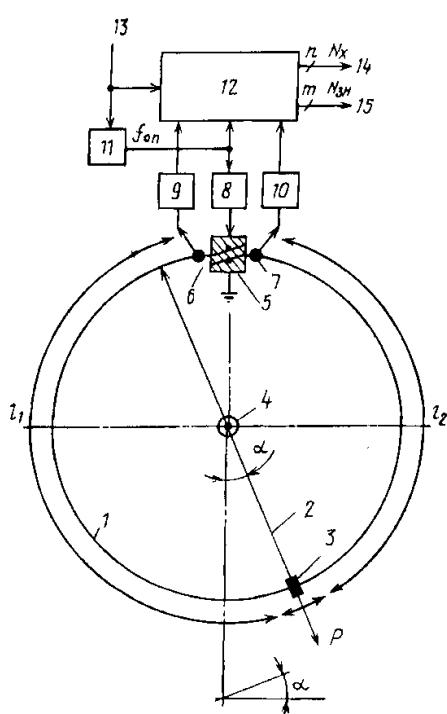


Рисунок 1 – Вариант магнитострикционного наклономера

На рисунке 1 изображена схема магнитострикционного наклономера. В центре круглого волновода 1 расположены две магнитные системы: одна фиксированная 2 и одна подвижная 3. Поток магнита 2 проходит сквозь подвижную систему 3. Вокруг волновода протекает ток I. Угол наклона α определяется между горизонтальной осью и линией, соединяющей центры магнитов. Сигналы с выходов 11 и 12 обрабатываются в блоках 13 и 14, а также в блоках 8, 9 и 10.

Диапазон измерения магнитострикционных угломеров [1-4] достигает $\pm 180^\circ$. Погрешность измерения составляет менее одной сотой секунды. Данные устройства нечувствительны к условиям проведения эксперимента и могут быть одно- и двухкоординатными. Принцип работы основан на изменении положения постоянного магнита относительно волновода или волноводов (ферромагнитных элементов) в зависимости от угла (углов) наклона объекта.

При прохождении токового импульса в среде волновода вокруг него образуется магнитное поле, которое взаимодействует с магнитным полем, созданным постоянным магнитом, в результате чего в волноводе происходит формирование упругих волн кручения, распространяющихся в обе стороны от места взаимодействия по волноводу вследствие магнитомеханического преобразования (эффект Видемана).

С помощью элементов считывания осуществляется преобразование упругих волн кручения в электрические импульсы вследствие магнитоупругого преобразования (эффект Виллари). Возможно демпфирование волн; для увеличения времени распространения и точности измерений возможно использование отражающей нагрузки. Производя подсчет времени распространения волн, находят код угла наклона.

Один из вариантов однокоординатного магнитострикционного угломера приведен на рисунке 1. Он состоит из следующих элементов и узлов: волновода 1 из магнитострикционного материала с радиусом закругления R, поводка 2 с поляризатором 3 и шарниром 4, акустического поглотителя 5, двух элементов считывания 6,7, усилителя записи 8, двух усилителей считывания 9,10, генератора опроса 11, блока кодирования и вычислений 12 (БКВ), шины управления 13, п шин данных 14 и т шин знака перемещения 15.

Все рассмотренные типы угломеров используются в строительстве, однако по технико-экономическим показателям маятниковые угломеры уступают магнитострикционным по чувствительности, точности, быстродействию, надежности и энергопотреблению; гидравлические – по чувствительности, точности, быстродействию и энергопотреблению; емкостные – по точности, быстродействию, надежности и стоимости; лазерные -по энергопотреблению, стоимости, массе и габаритам. Эти преимущества магнитострикционных угломеров позволяют отдать им предпочтение при создании систем обеспечения безопасности строительных работ.

Вывод. Представленная в данной статье информация позволяет сделать выводы о характеристиках угломеров, используемых в строительстве.

ЛИТЕРАТУРА

1. Воронцов А.А. Исследование изменения быстродействия при удаленном подключении по сети интернет к рабочему столу виртуальной машины частного облака ПензГТУ. XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. 2016. № 3 (31). С. 173-178.
2. Прошкин В.Н. Конструкторско-технологические способы совершенствования магнитострикционных преобразователей линейных перемещений для специальных условий эксплуатации: Дис....канд. техн. наук. – Астрахань, 2007. – 229 с.
3. Воронцов, А.А. Двумерная модель формирования сигнала воспроизведения магнитострикционного угломера / Ю.Н. Слесарев, А.А. Воронцов // Известия Пензенского государственного педагогического университета. Физико-математические и технические науки. – 2012. – № 30. – С. 462–466.
4. Воронцов, А.А. Математическое моделирование магнитных полей двухкоординатных магнитострикционных угломеров, содержащих кольцевой или сплошной постоянный магнит / Ю.Н. Слесарев, А.А. Воронцов, Э.В. Карпухин // Известия Пензенского

государственного педагогического университета. Физико-математические и технические науки. – 2012. – № 30. С. 467–472.

УДК 519.711.3

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОВЕРХНОСТНОГО ЭФФЕКТА В МАГНИТОСТРИКЦИОННЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯХ ЛИНЕЙНЫХ И УГЛОВЫХ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ

А.А. Воронцов¹

¹ доцент кафедры "Вычислительные машины и системы", к.т.н., Пензенский Государственный Технологический Университет, г. Пенза, Россия, e-mail: aleksander.vorontsov@gmail.com

Аннотация. В данной статье подробно рассмотрен явление, получившее название скин или поверхностный эффект, проявляющийся в протекании переменного электрического тока в поверхностном слое волновода, называемом также эффективно проводящим Зэ-слоем. Выполнен анализ основных факторов, влияющих на толщину поверхностного слоя. Проведено математическое моделирование поверхностного эффекта и оценка толщины Зэ-слоя при различных значениях частоты колебаний переменного электрического тока.

Ключевые слова: скин эффект, магнитострикционный углономер, эффективно проводящий слой, поверхностный эффект, математическое моделирование скин эффекта.

RESEARCH OF SURFACE EFFECT IN MAGNETOSTRICTION CONVERTERS OF LINEAR AND ANGULAR MOVEMENTS

А.А. Vorontsov¹

¹lecturer of department "Computers and Systems", Ph.D., Penza State Technological University, s. Penza, Russia, e-mail: aleksander.vorontsov@gmail.com

Abstract. This article describes in detail a phenomenon called a skin or a surface effect, which manifests itself in the flow of an alternating electric current in the surface layer of a waveguide, also called an effectively conducting Ze layer. The analysis of the main factors affecting the thickness of the surface layer is carried out. Mathematical modeling of the surface effect and estimation of the thickness of the Ze layer at various values of the frequency of oscillations of the alternating electric current are carried out.

Keywords: Skin effect, magnetostrictive protractor, effective conductive layer, surface effect, mathematical modeling of the skin effect.

Введение. Одним из факторов, который необходимо учитывать при расчетах магнитных полей магнитострикционных преобразователей линейных и угловых перемещений является поверхностный эффект [1-11]. Он проявляется в неравномерном распределении переменного тока по сечению волновода (ВЛ) из-за индукционного взаимодействия различных элементов тока между собой, что приводит к сосредоточению электрического тока в поверхностном слое, называемом также эффективно проводящим z_{Θ} -слоем. Это необходимо учитывать при расчетах.

Цель работы.

Целью работы является исследование поверхностного эффекта в магнитострикционных преобразователях линейных и угловых перемещений

Материал и результаты исследований.

Для анализа распределения тока по поперечному сечению ВЛ введем

понятие абсолютного значения плотности тока δ , называемого также согласно [1,6] в дальнейшем плотностью тока.

В цилиндрической системе координат плотность тока определяется согласно выражению[1]:

$$\frac{d^2 \dot{\delta}}{dr^2} + \frac{1}{r} \frac{d \dot{\delta}}{dr} = j\omega \mu_a \gamma \cdot \dot{\delta}, \quad (1)$$

где r - текущий или рассматриваемый радиус ВЛ; μ_a , γ – абсолютная магнитная проницаемость и удельная проводимость материала ВЛ, $\mu_a = \mu \mu_0$; ω – циклическая частота токового импульса, $\omega = 2 \cdot \pi \cdot f$, f -частота колебаний токового импульса; $j = \sqrt{-1}$ – мнимая единица.

Выражение (1) заменой переменных $q = \sqrt{-j\omega \mu_a \gamma}$ можно свести к более простому виду[1]:

$$\frac{d^2 \dot{\delta}}{dr^2} + \frac{1}{r} \frac{d \dot{\delta}}{dr} + q^2 \dot{\delta} = 0 \quad (2)$$

или

$$\frac{d^2 \dot{\delta}}{d(qr)^2} + \frac{1}{qr} \frac{d \dot{\delta}}{d(qr)} + \dot{\delta} = 0, \quad (3)$$

являющегося частным случаем уравнения Бесселя.

Решение уравнения (3) может быть найдено в следующем виде [1,6]:

$$\dot{\delta} = AJ_0(qr) + BN_0(qr), \quad (4)$$

где A, B – постоянные интегрирования, $J_0(qr)$ – функция Бесселя первого рода нулевого порядка, $N_0(qr)$ – функция Бесселя нулевого порядка второго рода.

Функция $N_0(qr)$ обладает особенностью, заключающейся в том, что при $qr = 0$, т.е на оси ВЛ при $r=0$ она обращается в бесконечность.

Так как из физических соображений ясно, что плотность тока должна быть всюду конечна, в том числе на оси провода, то слагаемое $N_0(qr)$ из уравнения (4) можно отбросить, в результате чего оно перепишется в виде [1]:

$$\bullet \delta = AJ_0(qr). \quad (5)$$

Для определения постоянной интегрирования A , выразим согласно [1,6], используя свою систему обозначений, амплитуду токового импульса в

ЗП I_m через плотность тока $\bullet \delta$:

$$I_m = \int_s^{\bullet} \delta dS = \int_0^{r_{BL}} AJ_0(\sqrt{qr}) 2\pi r dr = A \frac{2\pi \cdot r_{BL}}{q} J_1(qr_{BL}), \quad (6)$$

откуда искомая постоянная интегрирования A определяется как

$$A = \frac{I_m \cdot q}{2\pi \cdot r_{BL} \cdot J_1(qr_{BL})} \quad (7)$$

Плотность тока $\bullet \delta$, определяемая уравнением (5), с учетом значения постоянной интегрирования A , полученного в (7), перепишется следующим образом:

$$\bullet \delta = \frac{I_m \cdot q}{2\pi \cdot r_{BL} \cdot J_1(qr_{BL})} J_0(qr). \quad (8)$$

На основании формулы (8) было проведено математическое моделирование зависимости плотности тока $\bullet \delta$ от рассматриваемого (текущего) радиуса ВЛ r для различных значений частоты токового импульса, результаты моделирования которого для значений $r_{BL} = 0,5\text{мм}$ ($5 \cdot 10^{-4}\text{ м}$), $\mu_a = 1,25 \cdot 10^{-4}$, $I_m = 0,1\text{А}$, $\gamma = 10^7 \text{ См}/\text{м}$, приведены на рисунке 1

Анализ результатов моделирования, приведенных на рисунке 1, позволяет сделать вывод, что с увеличением частоты колебаний токового импульса f происходит резкое увеличение плотности тока вблизи поверхности ВЛ, что приводит к уменьшению толщины эффективно проводящего $z_{\mathcal{E}}$ -слоя. Так, на частоте 100КГц указанная толщина составляет 0,2мм при радиусе ЗП $r_{BL} = 0,5\text{мм}$, причем на глубине 0,1мм значение плотности тока уже уменьшается на порядок по сравнению с его значением на поверхности ВЛ.

Для расчетов толщины эффективно проводящего $z_{\mathcal{E}}$ -слоя возможно использование следующего известного выражения [4]:

$$z_{\mathcal{E}} = \sqrt{\frac{2}{\omega \mu_a \gamma}}, \quad (9)$$

где γ - удельная проводимость, измеряемая в См/м.

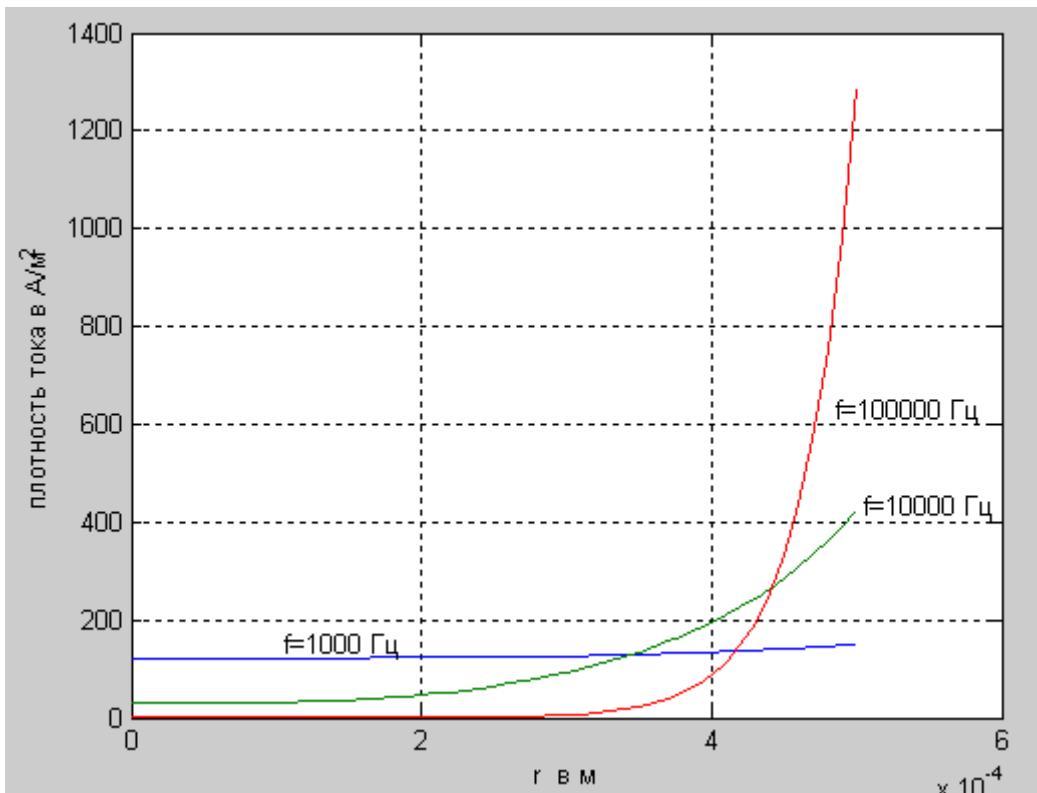


Рисунок 1 - Зависимость плотности тока от частоты токового импульса и расстояния от оси цилиндрического ВЛ в плоскости его сечения.

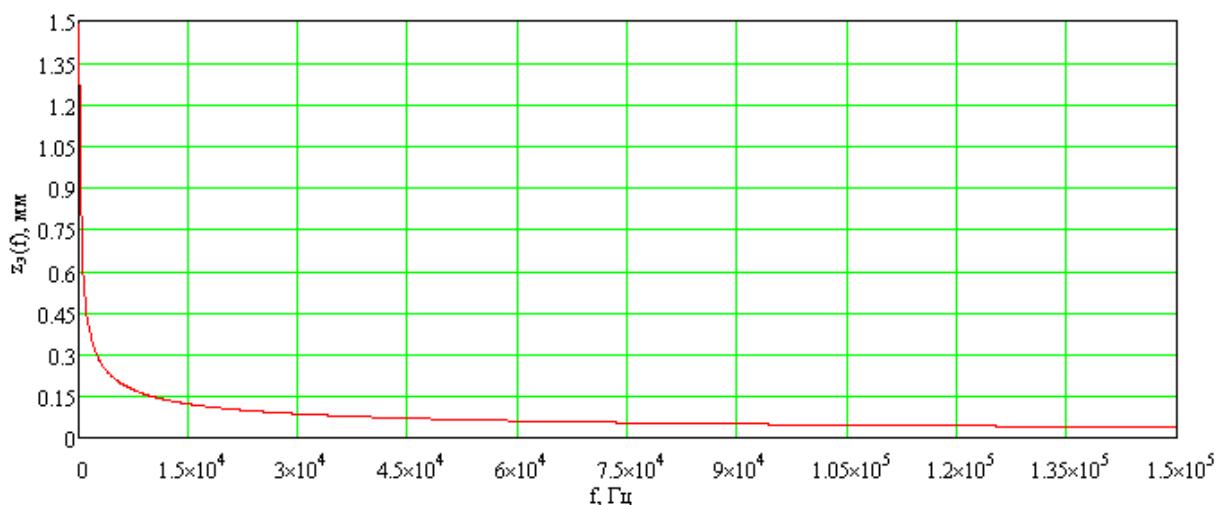


Рисунок 2 - Зависимость толщины эффективно проводящего $z_{\mathcal{E}}$ -слоя в мм от частоты токовых импульсов в Гц для цилиндрического ВЛ при $\gamma = 1.15 \cdot 10^7$ См/м, $\mu_a = 1,25 \cdot 10^{-4}$

На основании формулы (9) было проведено моделирование зависимости толщины эффективно проводящего $z_{\mathcal{E}}$ -слоя от частоты колебаний токового импульса, результаты моделирования которого приведены на рисунке 2. Анализ результатов моделирования позволяет сделать вывод о необходимости учета поверхностного эффекта при моделировании магнитных полей магнитострикционных приборов уже на частотах составляющих десятки КГц.

Вывод. Анализ результатов моделирования, приведенных на рисунках 1 и 2 позволяет сделать вывод, что с увеличением частоты колебаний переменного тока происходит резкое уменьшение толщины эффективно проводящего $z_{\mathcal{E}}$ -слоя. Это должно быть учтено при разработке и анализе конструкций магнитострикционных преобразователей.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бессонов Л.А. Теоретические основы электротехники. Электромагнитное поле: Учебник. – 9-е изд., перераб. и доп. – М: Гардарики, 2001. – 317 с.
2. Воронцов А.А. Двумерная модель формирования сигнала воспроизведения магнитострикционного наклономера /Ю.Н. Слесарев, А.А. Воронцов// Известия Пензенского государственного педагогического университета. Физико математические и физические науки – 2012. - №30. С.462-466.
3. Воронцов А.А. Моделирование магнитной системы магнитострикционного наклономера / А.А. Воронцов, Ю.Н. Слесарев// Наука и образование 2010: Сборник материалов международной НПК. – Мурманск: МГТУ, 2010. – С.160-163
4. Демирчян К.С. Теоретические основы электротехники. Т.2/ К.С. Демирчян, Л.Р. Нейман, Н.В. Коровкин. – СПб.: Питер, 2009. – 432 с.
5. Карпухин Э.В. Математическое моделирование магнитных полей накладных магнитострикционных уровнемеров: Дис....канд. техн. наук. – Пенза, 2012. – 157 с.
6. Купалян С.Д. Теоретические основы электротехники. Ч.3. Электромагнитное поле. Издание 3-е, исправленное и дополненное. – М.: Энергия, 1970. – 248 с.
7. Воронцов А.А. Исследование изменения быстродействия при удаленном подключении по сети интернет к рабочему столу виртуальной машины частного облака ПензГТУ. ХХI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. 2016. № 3 (31). С. 173-178.
8. Прошкин В.Н. Конструкторско-технологические способы совершенствования магнитострикционных преобразователей линейных перемещений для специальных условий эксплуатации: Дис....канд. техн. наук. – Астрахань, 2007. – 229 с.
9. Воронцов, А.А. Двумерная модель формирования сигнала воспроизведения магнитострикционного наклономера / Ю.Н. Слесарев, А.А. Воронцов // Известия Пензенского государственного педагогического университета. Физико-математические и технические науки. – 2012. – № 30. – С. 462–466.
10. Слесарев Ю.Н. Реверсивные методы записи для оптических дисковых накопителей: Дис....д-ра техн. наук. – Пенза, 2004. – 342 с.

УДК 519.711.3

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОВЫШЕНИЯ БЫСТРОДЕЙСТВИЯ КОМПЬЮТЕРОВ В СЕТЯХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЧАСТНЫХ ОБЛАКОВ

А.А. Воронцов¹, В.Н. Шачнев²

¹доцент кафедры "Вычислительные машины и системы", к.т.н., Пензенский Государственный Технологический Университет, г. Пенза, Россия, e-mail: aleksander.vorontsov@gmail.com

²студент гр. 19ИВ1м, Пензенский Государственный Технологический Университет, г. Пенза, Россия, e-mail: anynazar@yandex.ru

Аннотация. Целью работы является проведение исследований изменения быстродействия при удаленном подключении по сети интернет к рабочему столу виртуальной машины частного облака Пензенского государственного технологического университета. В работе выполнен анализ изменения быстродействия оперативной памяти и процессора трех компьютеров с качественно различными конфигурациями устройств. Было показано, что после подключения к удаленному рабочему столу виртуальной машины производится снижение загрузки процессоров и увеличение загрузки оперативной памяти.

Ключевые слова: соленоид, удаленный рабочий стол, виртуальная машина, исследование быстродействия, облачные технологии, частное облако.

RESEARCH OF INCREASING COMPUTER HIGH SPEEDS IN NETWORKS USING PRIVATE CLOUDS

A.A. Vorontsov¹, V.N. Shachnev²

¹lecturer of department "Computers and Systems", Ph.D., Penza State Technological University, s. Penza, Russia, e-mail: aleksander.vorontsov@gmail.com

²student, gr.19IV1m, Penza State Technological University, s. Penza, Russia, e-mail: anynazar@yandex.ru

Abstract. The aim of the work is to conduct research on changes in performance when connecting remotely via the Internet to the desktop of a private cloud virtual machine at Penza State Technological University. In the work, an analysis is made of the change in the speed of RAM and the processor of three computers with qualitatively different device configurations. It was shown that after connecting to the remote desktop of the virtual machine, the processor load is reduced and the memory load is increased.

Keywords: *Remote Desktop, a virtual machine, the performance study, cloud, private cloud.*

Введение. На сегодняшний день не более 15% отечественных организаций на практике применяют облачные технологии (ОТ) в целях оптимизации своих IT-инфраструктур. По прогнозам международной исследовательской и консалтинговой компании, занимающейся изучением мирового рынка информационных технологий и телекоммуникаций International Data Corporation, к 2018 году мировые инвестиции в рынок публичных облачных сервисов составят 127,5 миллиардов долларов, что в шесть раз больше прогнозируемого роста глобального IT-рынка [1]. Россия по внедрению ОТ по состоянию на 2011 год занимала 34-е место с показателем 250 миллионов долларов [2]. Однако возможность их использования в образовательном процессе, частных компаниях, фирмах и организациях может позволить в ближайшее время качественно улучшить текущие показатели.

Облачные технологии - это различные аппаратные и программные средства, которые предоставляются пользователю для реализации своих целей, задач, проектов. Все операции с данными происходят не на компьютере пользователя, а на сервере в сети[3-9].

Существует три вида услуг, предоставляемых пользователю или клиенту с помощью облачных технологий:

1. инфраструктура как услуга (IaaS) - предоставление клиенту вычислительных ресурсов по его запросу, на которых клиент имеет возможность запустить и развернуть произвольное программное обеспечение, включающее в себя приложения и операционные системы.

2. платформа как услуга (PaaS) – предоставление облачной платформы для развертывания программного обеспечения, поддерживаемых облачным провайдером.

3. программное обеспечение как услуга (SaaS) – предоставление в пользование заказчику приложений, развернутых на облачной инфраструктуре провайдера.

Каждая из услуг может быть реализована в сфере образования, последняя из них (SaaS), уже эффективно реализуется в частном облаке Пензенского государственного технологического университета (ПензГТУ) в образовательном процессе. Для реализации этой услуги на сервере создаются виртуальные машины, содержащие программное обеспечение, необходимое студенту в процессе обучения.

Цель работы. В процессе работы, быстродействие устройства, с которого пользователь подключается к виртуальной машине изменяется. Исследованию изменения быстродействия при работе с виртуальными машинами частного облака ПензГТУ является целью работы.

Материал и результаты исследований.

Для работы с частным облаком ПензГТУ необходимо устройство с возможностью выхода с него в интернет (браузер), наличие на нем подключения к глобальной сети и установленного сертификата (для удаленного подключения). Подключение к частному облаку ПензГТУ осуществляется при введении пользователем своих идентификаторов на странице <https://rds-gateway.psta.ru/rdweb> (рисунок 1).

После процедуры регистрации пользователю предоставляется возможность выбора виртуальной машины, на которой он будет работать (рисунок 2). Различия между виртуальными машинами заключаются в установленных на них операционных системах и программном обеспечении.

Для подключения к виртуальной машине также используются идентификаторы пользователя (рисунок 3).

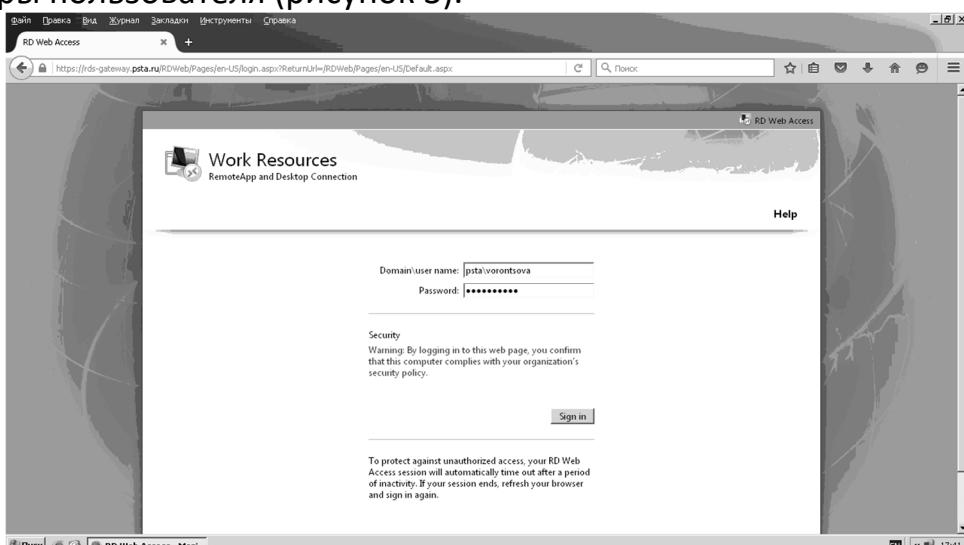


Рисунок 1 – Подключению к серверу ПензГТУ по сети Интернет

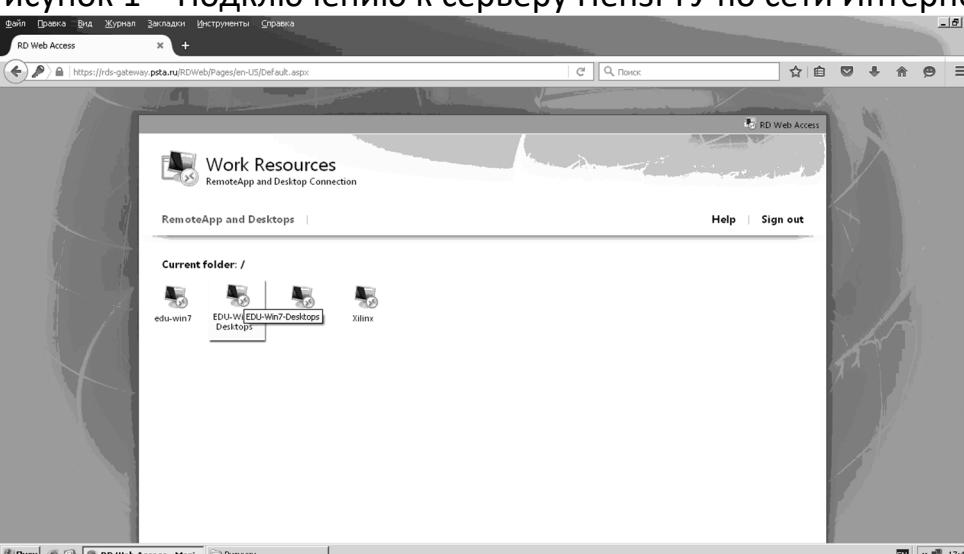


Рисунок 2 – Выбор виртуальной машины для дальнейшей работы

Вычислительный эксперимент по оценке изменения быстродействия компьютера при работе по сети интернет с удаленным рабочим столом виртуальной машины частного облака ПензГТУ выполнялся на трех компьютерах, качественно отличающихся друг от друга по конфигурации.

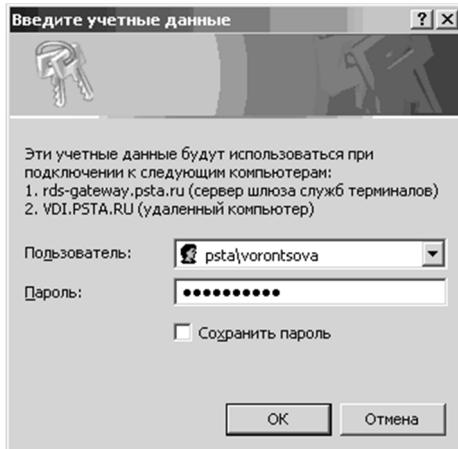
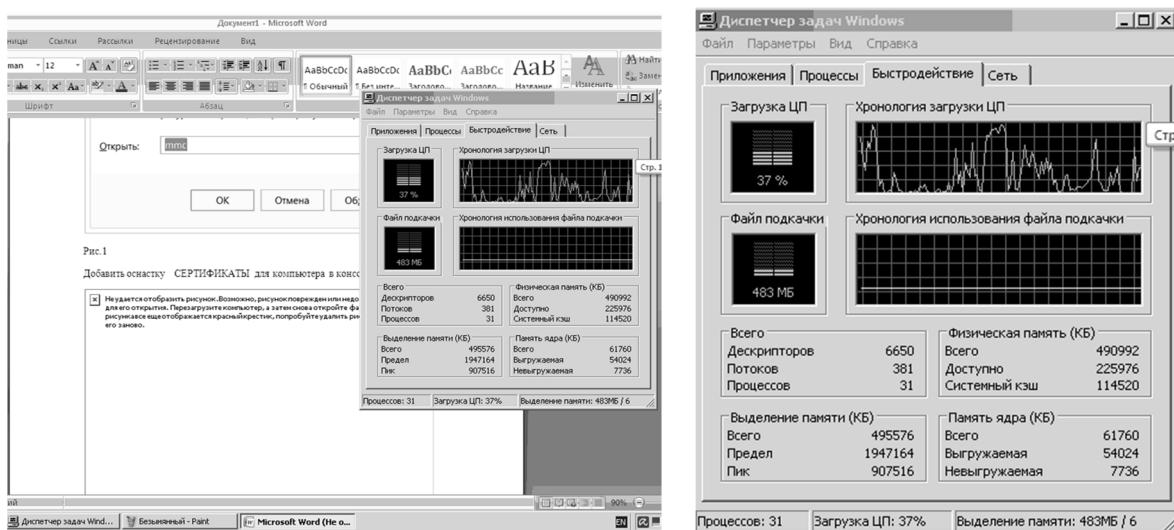


Рисунок 3 – Ввод идентификаторов для подключения к виртуальной машине ПензГТУ



а)

б)

Рисунок 4 – Результаты первого эксперимента по определению быстродействия компьютера до подключения компьютера к удаленному рабочему столу:

а) рабочий стол компьютера; б) увеличенное изображение загрузки устройств

Первый вычислительный эксперимент выполнялся на относительно “слабом” компьютере под управлением 32 разрядной ОС Windows XP с одноядерным процессором Intel(R) Celeron(R) 2.80Ghz, оперативной памятью DDR емкостью 512 мб, интегрированной видеокартой содержащей 96.0 мб видеопамяти и жестким диском емкостью 80Гб. Работа на компьютере с

указанными характеристиками с большинством существующих на сегодняшний день приложений [1-3], крайне утомительна из-за постоянных длительных задержек ответа системы в процессе работы. Так, при одновременной работе с программой paint и microsoft word, в соответствии с рисунками 4а и 4б, загрузка процессора достигала 100% и составляла в среднем 37%. Для работы с указанными программами было задействовано 483 мегабайта оперативной памяти.

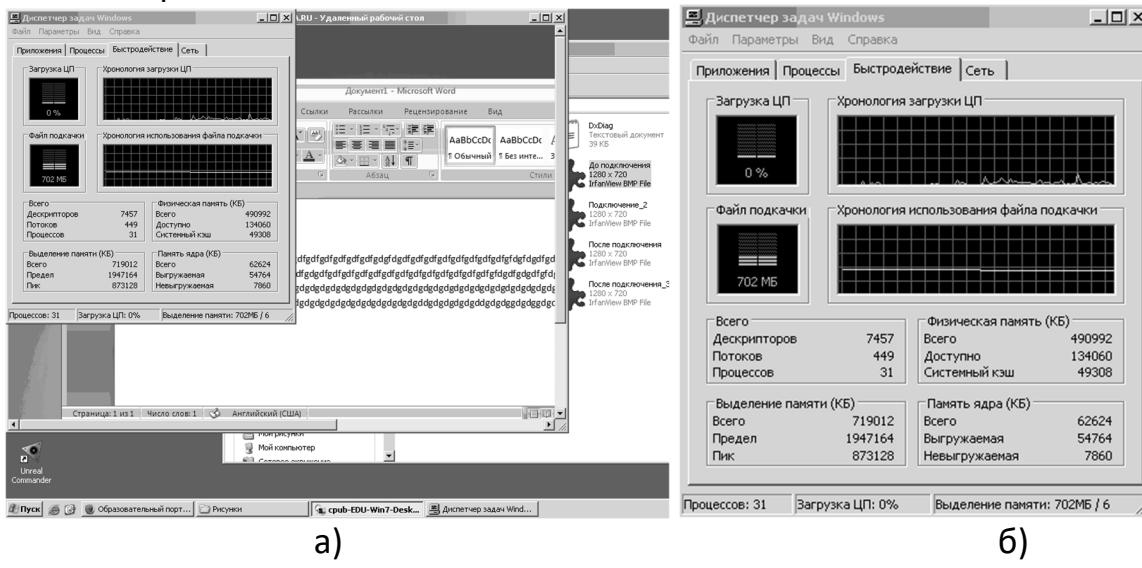


Рисунок 5 – Результаты эксперимента №1 по определению быстродействия компьютера после подключения компьютера к удаленному рабочему столу виртуальной машины win7 а) удаленный рабочий стол и б) увеличенное изображение загрузки процессора и оперативной памяти

После подключения к удаленному рабочему столу виртуальной машины с названием win7 (рисунок 5), произошло резкое снижение загрузки процессора, в среднем до 4%, то есть более чем в 9 раз даже при нескольких одновременно запущенных на виртуальной машине программах. Загрузка оперативной памяти с использованием файлов подкачки составила 702 мегабайта, то есть увеличилась примерно на 45%.

Увеличение загрузки оперативной памяти связано с увеличением количества обрабатываемых процессов. Для того чтобы объяснить причину резкого снижения загрузки процессора, рассмотрим быстродействие самой виртуальной машины при запуске в ней нескольких программ одновременно.

Так, при одновременном запуске программ компас-график 3d 16 версии, текстового редактора word и проигрывателя windows media (рисунок 3), загрузка процессора виртуальной машины составила в среднем 2% при загрузке оперативной памяти 1,59гб. При этом, загрузка процессора и оперативной памяти пользователя остались практически неизменными.

Анализ рисунков 4 и 5, позволяет сделать вывод, что все вычисления выполняются на сервере, а по сети интернет передаются лишь результаты вычислений, произведенных на виртуальной машине. Этим и обусловлено резкое снижение загрузки процессора устройства пользователя. Это также означает, что пользователь имеет возможность с программным обеспечением, работа которых из-за системных требований не возможна на устройстве пользователя.

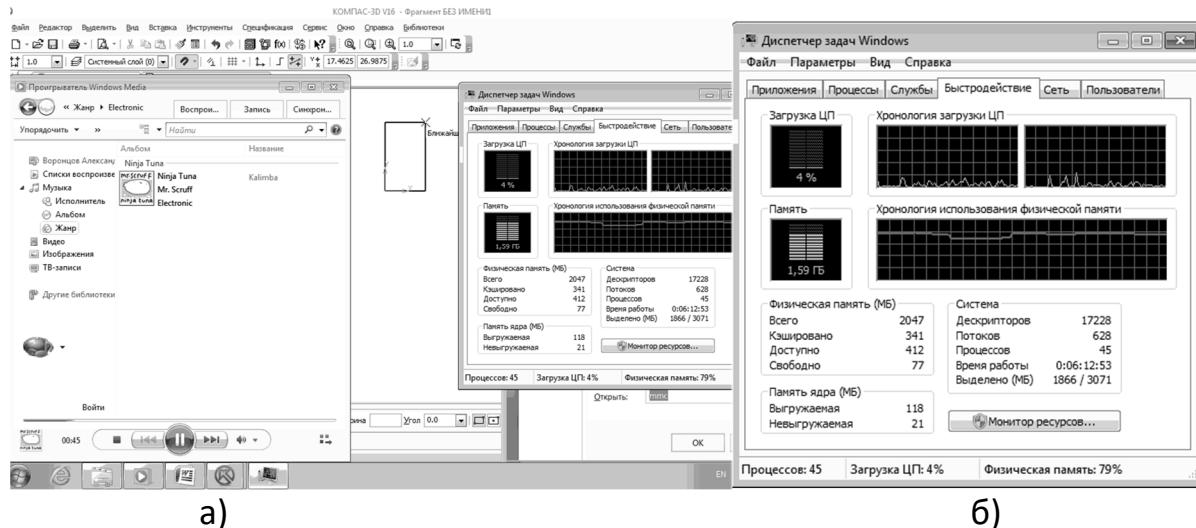


Рисунок 6 – Результаты эксперимента №1 по определению быстродействия компьютера после подключения компьютера к удаленному рабочему столу виртуальной win7 а) удаленный рабочий стол и б) увеличенное изображение загрузки процессора и оперативной памяти виртуальной машины

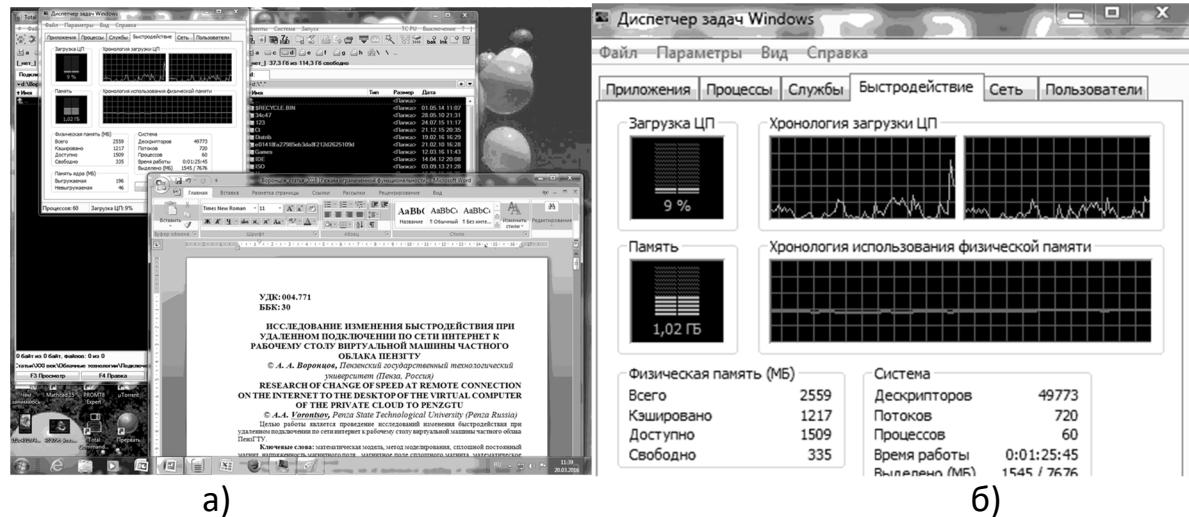
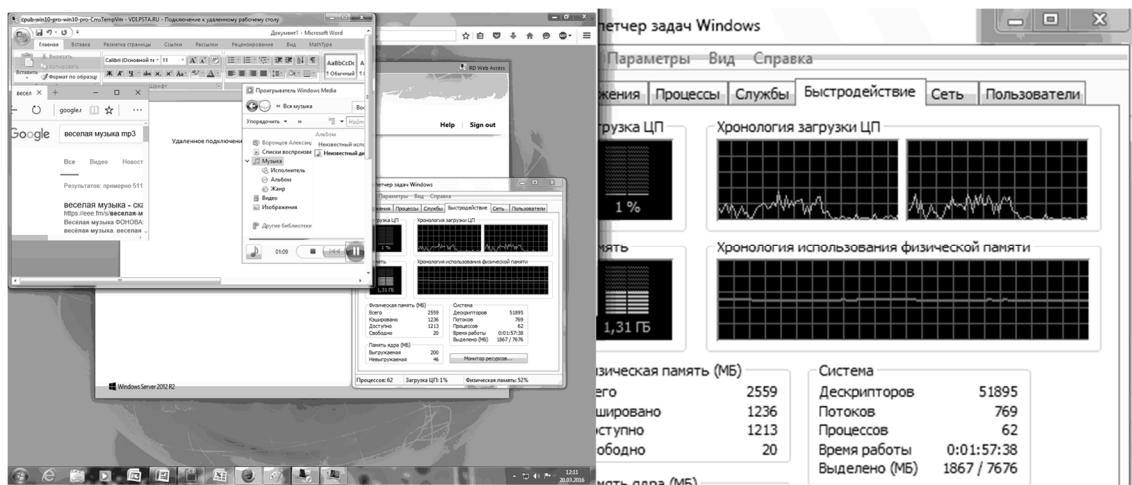


Рисунок 7 – Результаты второго эксперимента по определению быстродействия компьютера до подключения компьютера к удаленному рабочему столу а) рабочий стол компьютера и б) увеличенное изображение загрузки устройств

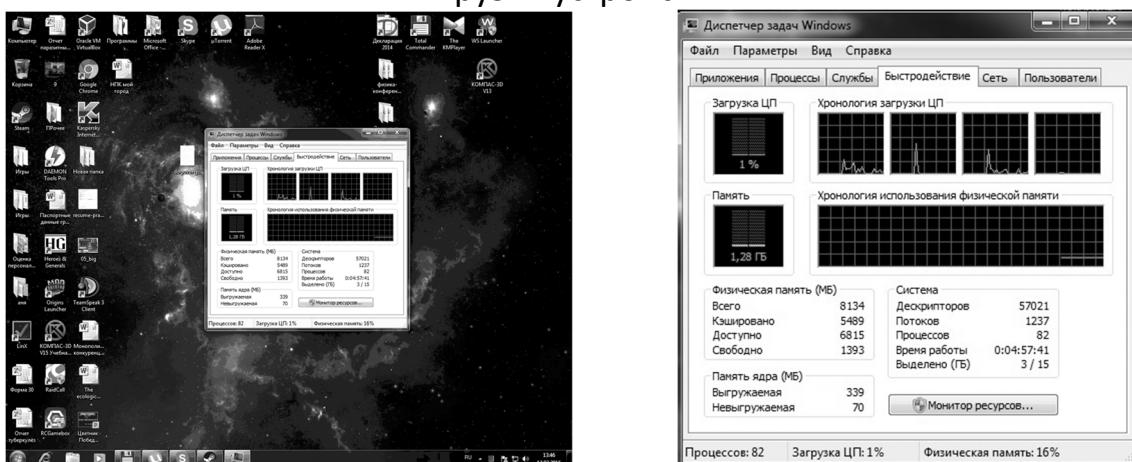
Для второго вычислительного эксперимента использовался компьютер под управлением 64 разрядной ОС Windows 7 с двухядерным процессором AMD Athlon(tm) 64 с частотой работы каждого ядра по 2ГГц (3800+), оперативной памятью DDR 2 емкостью 2 Гб, внешней видеокартой 256.0 Мб и жестким диском емкостью 500Гб. Загрузка процессора и оперативной памяти при работе в 64-разрядной ОС Windows 7 в текстовом редакторе Word 2007 и запущенном файловом менеджере Total Commander v.8.01 составляла в среднем 9% и 1,02 гигабайта соответственно (рисунок 7).



а)

б)

Рисунок 8 – Результаты второго эксперимента по определению быстродействия компьютера после подключения компьютера к удаленному рабочему столу а) удаленный рабочий стол и б) увеличенное изображение загрузки устройств



А)

Б)

Рисунок 9 – Результаты эксперимента №3 по определению быстродействия до подключения компьютера к удаленному рабочему столу компьютера а) рабочий стол компьютера и б) увеличенное изображение загрузки устройств

После подключения к виртуальной машине и запуска текстового редактора Word 2007 в ней (а не на ПК пользователя), а также браузера и проигрывателя Windows Media (рисунок 8), загрузка процессора резко снизилась в среднем до 1% (в 9 раз), а оперативной памяти увеличилась до 1,31Гб (приблизительно на 30%). То есть полученные в результате второго эксперимента результаты качественно совпадают с результатами первого эксперимента.

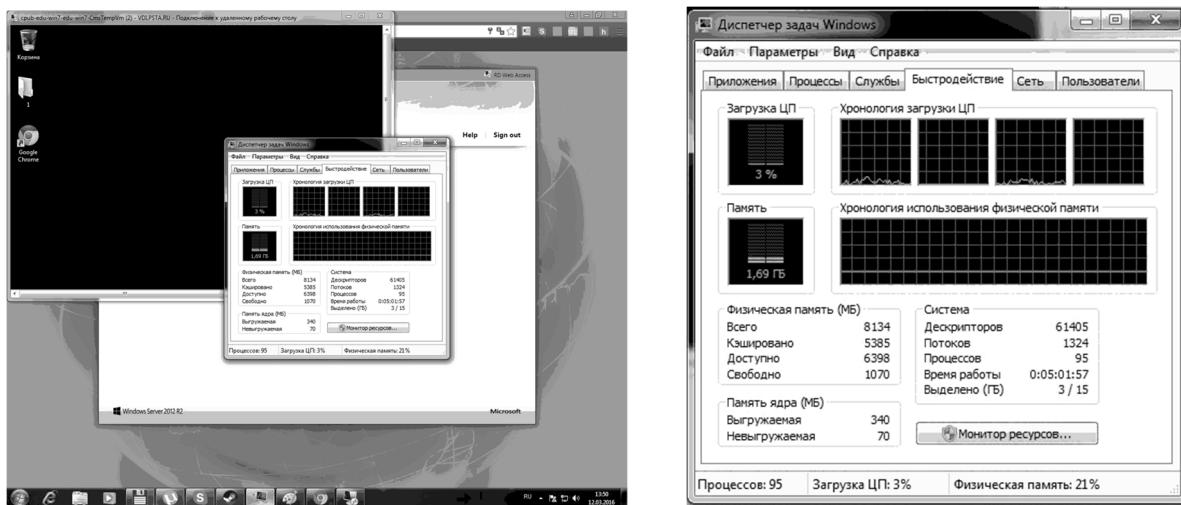


Рисунок 10 – результаты эксперимента №3 по определению быстродействия после подключения компьютера к удаленному рабочему столу а) удаленный рабочий стол и б) увеличенное изображение загрузки процессора и оперативной памяти

Третий вычислительный эксперимент выполнялся на компьютере, содержащем четырехядерный процессор AMD A8 6600K, с частотой работы каждого ядра по 4,2 ГГц; видеокарту Radeon HD 7750 (3 Гб видеопамяти), оперативной памятью DDR3 емкостью 8 Гб фирмы Kingston, с частотой работы 800МГц и жесткий диск емкостью 5 Тб.

Загрузка процессора и оперативной памяти до подключения к удаленному рабочему столу виртуальной машины частного облака ПензГТУ составляли в среднем 2% и 1,28Гб соответственно (рисунок 9). После подключения (рисунок 10) загрузка процессора немного снизилась, но в среднем также составила 2%, загрузка оперативной памяти увеличилась до 1,69 Гб, то есть приблизительно на 32%.

Вывод. Таким образом, на основании вышеизложенного можно сделать следующие выводы работа с удаленными рабочими столами виртуальных машин частного облака наиболее эффективна на устройствах старых и устаревающих модификаций с возможностью подключения к сети Интернет.

нет. Независимо от характеристик устройства пользователя, в процессе работы с частным облаком происходит снижение загрузки процессора и увеличение загрузки оперативной памяти. Не зависимо от параметров устройства, с помощью которого производится подключение, облачные технологии позволяют пользователю работать с программным обеспечением, как отсутствующем на устройстве пользователя, так и работа с которым была бы невозможна из-за высоких системных требований.

В заключении необходимо отметить про скорость интернет-соединения и израсходованный трафик. 1. Входящая скорость интернет соединения для трех вычислительных экспериментов составляла 9056Кбит/сек, 2596 Кбит/сек и 9,9Мбит/сек, а исходящая – 10519 Кбит/сек, 3254 Кбит/сек и 2,81 Мбит/сек соответственно. 2. За время работы с виртуальными машинами (около 1 часа работы) было израсходовано приблизительно 50 Мегабайт Интернет-траффика.

ЛИТЕРАТУРА

1. Воронцов А.А. Исследование изменения быстродействия при удаленном подключении по сети интернет к рабочему столу виртуальной машины частного облака ПензГТУ. XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. 2016. № 3 (31). С. 173-178.
2. Мартышкин А.И., Бикташев Р.А., Воронцов А.А. Численный метод для определения пропускной способности приоритетного потока заявок в многопроцессорной системе с общим диспетчером задач по каждому конкретному типу приоритета. XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. Пенза: ПензГТУ. - 2014. № 3 (19). С. 137-145.
3. Прошкин В.Н. Конструкторско-технологические способы совершенствования магнитострикционных преобразователей линейных перемещений для специальных условий эксплуатации: Дис....канд. техн. наук. – Астрахань, 2007. – 229 с.
4. Воронцов, А.А. Двумерная модель формирования сигнала воспроизведения магнитострикционного наклономера / Ю.Н. Слесарев, А.А. Воронцов // Известия Пензенского государственного педагогического университета. Физико-математические и технические науки. – 2012. – № 30. – С. 462–466.
5. Воронцов, А.А. Математическое моделирование магнитных полей двухкоординатных магнитострикционных наклономеров, содержащих кольцевой или сплошной постоянный магнит / Ю.Н. Слесарев, А.А. Воронцов, Э.В. Карпухин // Известия Пензенского государственного педагогического университета. Физико-математические и технические науки. – 2012. – № 30. С. 467–472.
6. Воронцов А.А. Моделирование магнитной системы конструкций двухкоординатных магнитострикционных наклономеров с расположением магниточувствительных элементов под углом 90 градусов / Ю.Н. Слесарев, А.А. Воронцов, С.В. Родионов, А.М. Зелик // В сб.: Новое слово в науке: перспективы развития Сборник материалов международной научно-практической конференции. Чебоксары, 2014. С. 238 – 240.

7. Прецизионные сплавы. Справочник /Под ред. Молотилова Б.В. -М.: Металлургия, 1983.-439 с.
8. Слесарев Ю.Н. Реверсивные методы записи для оптических дисковых накопителей: Дис....д-ра техн. наук. – Пенза, 2004. – 342 с.
9. Воронцов А.А. Математическое моделирование магнитных полей в двухкоординатных магнито-стрикционных наклономерах: Дис....канд. техн. наук. – Пенза, 2013. – 160 с.

УДК 624.042

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПРИ ФОРМООБРАЗОВАНИИ, КОНСТРУИРОВАНИИ И ДИАГНОСТИКЕ СЛОЖНЫХ СООРУЖЕНИЙ, МАССИВОВ И СРЕД

Кулябко В.В.

Доктор технических наук, профессор кафедры металлических, деревянных и пластмассовых конструкций, Государственное высшее учебное заведение «Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры», г. Днепр, Украина, e-mail: vvkulyabko@gmail.com

Аннотация. В работе рассматриваются новые возможности, связанные с использованием динамических характеристик строительных конструкций зданий, сооружений, оснований, сред. Предлагаются алгоритмы для предпроектного формообразования, конструирования, альтернативных уточняющих нелинейных расчётов. Даны также предложения по диагностике, динамической паспортизации технического состояния объектов. Это позволяет в ходе ускоренных динамических испытаний обнаружить повреждённый элемент. Создан (в Youtube) набор лекций-бесед для начального дистанционного обучения статике и динамике сооружений.

Ключевые слова: динамика конструкций, динамические модели зданий и сооружений, динамические испытания, поиск повреждений объектов.

USE OF DYNAMIC CHARACTERISTICS AT FORMATION, DESIGNING AND DIAGNOSTICS COMPLEX CONSTRUCTIONS, BASES AND FLOWS

Vladimir Kulyabko

Doctor of technical Sciences, Professor of Department of Metal, Wood and Plastical Constructions, State Higher Educational Institution ‘Prydneprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture’, Dnepr, Ukraine, e-mail: vvkulyabko@gmail.com

Abstract. The paper considers new **opportunities** associated with the use of dynamic characteristics of buildings, structures, foundations, environments. Algorithms are proposed for pre-design shaping, constructioning, alternative refinement non-linear calculations. There are also proposals for diagnostics, dynamic certification of the technical condition of objects.

This allows you to detect a damaged element during accelerated dynamic tests. A set of lectures-conversations was created (on YouTube) for the initial distance learning of the statics and dynamics of structures.

Keywords: dynamics of structures, dynamic models of buildings and structures, dynamic tests, search for damage to objects.

Введение. Эпидемиологическая пауза с весны 2020г. в вузовском образовании многих стран мира позволила осмотреться и сосредоточиться на некоторых, возможно упущеных, его моментах. Очень правильный был сразу выбран уклон, прежде всего, - в развитие разнообразных дистанционных методов обучения в школах и вузах. Но, к сожалению, научная общественность и министерства не проявили такой же активности в помошь реальному научно-техническому росту и высшего образования, и технологий проектирования, и работы многих предприятий, особенно – состояния их строительных объектов и всей инфраструктуры.

Цель работы. В данной работе рассматриваются возможные варианты улучшения отдельных этапов зарождения, грамотного проектирования и безаварийной эксплуатации огромного строительно-хозяйственного комплекса зданий, сооружений и инфраструктуры. И в данной работе к форуму-2020, и в докладе на форуме-2018 [1] пропагандируется тема динамики конструкций. Не только как образовательно-развивающая зона изучения сложных эффектов, но и как **новый мощный инструмент** для успешной реализации передовых технологий развития строительства.

О терминах и динамических характеристиках, какие **динамические характеристики** чаще нами изучаются и какие мы рекомендуем.

Тут нам мало будет словаря общих понятий и терминов из курса физики. Типа: вибрация, резонанс, амплитуда, период и частота колебаний. И из теоретической и строительной механик: динамическая модель, число динамических степеней свободы, дифференциальные уравнения движения, диссипация, динамическое гашение колебаний (ДГК). В наш словарь добавим: частоты и формы **собственных** плоских и пространственных колебаний; логарифмические декременты **свободных** колебаний; эпюры динамических **коэффициентов** сооружения при **вынужденных** колебаниях [1]; **динамические паспорта**; мониторинг [2-12].

Автор надеется, что читатель знаком с его работой [1] на форуме горняков-2018, в которой описывались истоки бурного развития школы динамики В.А. Лазаряна в Днепре, давались ссылки на плоды «Резонанса»: 8 защищённых (3 докторских и 5 кандидатских) и 3 не доведенных до защит диссертаций. И на труды М.И.Казакевича по ветровой безопасности и вибробиологии и т.п.

Методики моделирования, ошибочность постановок и важность уточнения и применения некоторых задач нелинейной динамики. Какие могут обсуждаться **сооружения**, в чём **сложность «их динамики»** для проектировщика, испытателя, механика и технолога цеха? Это – весь набор по этажности и назначению, конфигурации и условиям эксплуатации промышленных зданий и сооружений:

- **мосты**: тяжелый - скоростной автотрассы; лёгкий – пешеходный, горночных мото-, вело-трасс); или военно-стратегического значения и т.п.;

- **здания и сооружения цехов**: компрессорный цех; прессово-кузовные цеха с гибкими технологиями; бункерные и технологические открытые этажерки; обогатительная **фабрика** с автономными рамами под несколько грохотов, центрифуг, смесителей, вибропитателей и лотков с разными параметрами возмущений;

- для многих задач динамики просто необходим учёт и свойства прилегающих **оснований** и рельефа, корректные динамические модели должны быть совместными сооружения, фундаментов, свай и включений; учёт уклонов и диссипативных свойств слоёв грунтов, смежных сооружений и их динамических воздействий;

- в горно-добывающей промышленности много задач и самостоятельного расчета выработки как многослойного конструкционно-природного пространственного объекта – грунтового **massива** (прочности его покрывающего слоя, устойчивости и движения стен, в некоторых случаях до схемы многоэтажного многопролётного объекта);

- ещё очень важным в описанных задачах является учёт сложных и разных статико-динамических **взаимодействий** конструкций сооружений и массивов со **средой**. С окружающими строениями, транспортом (подземным, наземным и воздушным), ветровыми и иными потоками, разнообразной сейсмикой (природной, городской, транспортной и промышленной), с работающим оборудованием и т.п. Всё это влияет на динамические характеристики и динамику объектов [13-15].

Известны проблемы **аэродинамической** неустойчивости объектов в воздушном потоке, если не учесть при проектировании конструкций условий возникновения ветрового резонанса (vortex vibration), бафтига, галопирования и т.п. эффектов. В ответственных случаях проводят специальные продувки моделей и их среды в аэродинамических трубах. Более сложно, но необходимо, моделировать на компьютерных моделях транспортные, пешеходные и иные **потоки**, создавая статистически обоснованные ситуации, которые, к сожалению, в нормах появляются ... после очередных аварий или катастроф. **Динамика «иногда» не прощает ошибки и безграмотность!** Вспомним только мосты: 1940 – Такомская авария висячего моста;

2010 - Волгоградский «танцующий» мост; 2018 – падение сложного многоярусного автодорожного моста в Генуе!

Таким образом, подчеркнём, что **степень сложности** объекта **создаётся** природой или человеком по-разному и на разных стадиях! Например, замысел **архитектора** (которого иногда учат только оригинальности) по форме объекта и технологиям может быть раскритикован ещё в зародыше дискомфортного по вибрации проекта грамотным инженером, знакомым с разработками ISO и с МДФ [1, 2].

Кроме такого «узкопрофильного» архитектора, могут сильно осложнить получение корректных и рациональных динамических характеристик объекта ещё задумки **технologa** или **заказчика** о применении непроверенной новой технологии или машины, оборудования. Или замыслы **строителя** по новым узлам, по отказу от контроля на текущих этапах цикла. Или **руководства и механика цеха**, отвечающих за всё: за станки, машины, мостовые краны и за грамотность эксплуатации строительных конструкций: фундаментов, покрытий, перекрытий, колонн, связей.

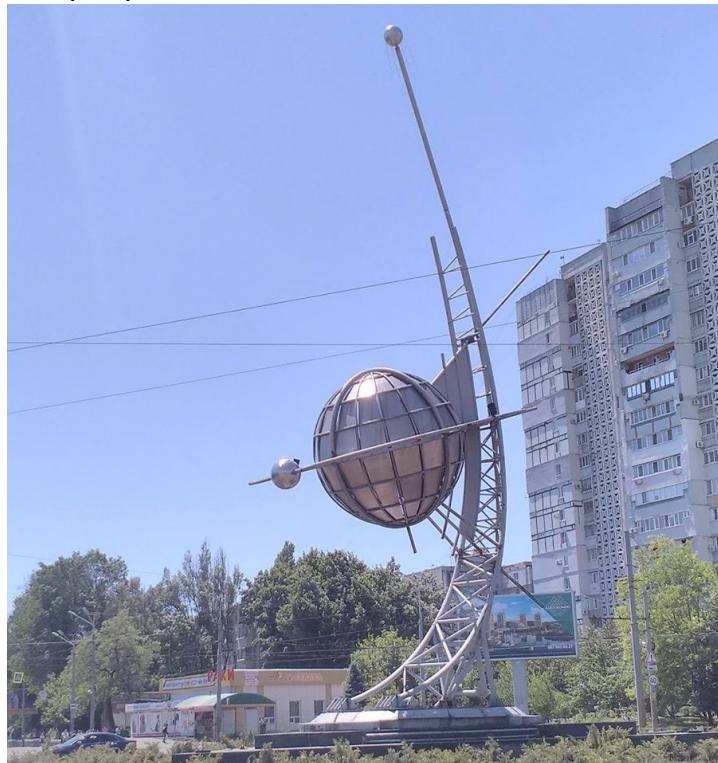


Рисунок 1 – Монумент «Памятный Знак Космонавтике» в Днепре на пр. Гагарина и Запорожском шоссе (с 2003 г.)

Что же такое **формообразование** и чем оно отличается от **конструирования**, от оптимального и традиционного проектирования? Возвратимся к спорам об архитектуре и вдохновении на предпроектной стадии объекта. Когда срочно в 2003г. городу надо было «поставить какой-то символ» 50-

летия ракетно-тракторной тематики ЮМЗ, включились не спеша архитекторы ПГАСА и ГДПИ, ракетчики КБЮ и родилась стела-труба со спутником и луной на орбите. Ни размеров, ни нагрузок, ни напряжений. А уж потом нашли нас, троих из «Резонанса» (см. ФБук). И «отвалили» на всех: и нам, и Заводу МК (а там тоже нашёлся резонансник!), и монтажникам аж ... месяц!? И «чтоб оно всё было готово к приезду Президента!»... Тут-то и родился **МДФ!**

При традиционном конструировании нового объекта, не имеющего аналогов по материалу, размерам, условиям, проектировщик старался придумать хотя бы макет и продуть его в аэродинамической трубе. Иначе на натуральном ветру ломались мечи и сабли-копья у героев иных монументов (Сталинград; штык на Поклонной горе в Москве; а уже Киевский монумент удалось исследовать в трубе!). Затем параллельно отряд расчётчиков собирал условия воздействия на все детали объекта: ветра (давление, скорость, роза ветров), снега и гололёда, автотранспорта (городская сейсмика), просадок грунтов, вандализма и т.п. Второй отряд задавался «с потолка» схемой объекта и разбросом параметров элементов, используя сортаменты (и выясняя их наличие у хозяев заводов). Третий отряд сразу предполагает худшую (зыбкую) динамику и конструирует демпфирующие устройства.

Главный отряд, выхватывая заготовленные для них диапазоны толщин, масс и размеров проката «заправляет это всё в любимый ПК», строит поля напряжений и мечтает о корабельной стали (как на Киевской телебашне). Вариантов размеров, схем и результатов – сотни! Споры! А время (несколько месяцев) - закончилось!

Но нашему новому методу МДФ потребовалось сделать параллельно расчёты на собственные колебания всего двух вариантов схемы пространственной фермы. И, интуитивно задавая трубу и лучи, мы стали укреплять Монумент пластиинами и фермами, находя в каждом счёте только 2-3 низшие частоты и формы. Получив **частоты всех форм выше 1,5 Гц, стали считать по всем правилам только такой вариант**. Ещё поставили «против зыбкости» три ДГК в модель Земли и изобрели два демпфера-трубы малой жесткости для трения в луч и консоль.

Очень важно, что может входить в понятие **динамической диагностики**? При кратковременном обследовании сложного объекта динамические характеристики, например, собственные **частоты и формы** пространственной стержневой модели мостового крана-перегружателя (длина более 140м, высота более 20м, масса около 700т, стоимость до **6 млн \$** при сроке службы 16-20 лет) должны фиксироваться многократно в виде **динамических паспортов**. **Проектный** паспорт (только теоретическая часть - из

расчетов в рабочем проекте), *первичный* (при сдаче в эксплуатацию – теория и первичные динамические испытания), *текущие* и при необходимости (после пожара, поломки, ремонта) - *внеочередные*. Камерально полученный Альбом (или прибор-фиксатор) паспортов для исправного крана и с искусственно выведенным из строя одним из его несущих элементов поочерёдно позволит на испытаниях сразу найти критический элемент. Конечно, удобно наблюдать (мониторить) поведение и характеристики такой машины дистанционно, на сайте мобильной связи с датчиками и вибограммами в реальном времени. Этому должны учить в ЛДК.

Здесь следует признать, что сложившаяся уже почти за сотню лет система применения расчётных вычислительных и программных комплексов (**ПК**), в большинстве - на базе метода конечных элементов (**МКЭ**), помогла (в середине прошлого века!) в решении многих задач строительства в **линейной** постановке. Но, если мы хотим практически использовать динамические характеристики в серьёзных алгоритмах и принципиальных решениях об аварийности, комфорте и т.п. рационализации, то мы обязаны максимально уточнять все динамические нелинейные модели, как можно точнее измерять в опытах свойства всех подсистем: от грунтов оснований – до покрытий объектов. Следует очень аккуратно ставить опыты по уточнению **нелинейных** задач и конструкций.

Изучать надо, например, очень распространённый в природе и технике вид трения – сухое. В каких механизмах и демпферах оно постоянное? В каких грунтах, узлах и нагрузках это допущение не работает!? С такими большими нелинейностями в системе - нельзя пользоваться принципом суперпозиции и отдельно считать объект на отдельные варианты статики (собственный вес и плюс ещё *n* установок отдельных загружений и перестановок временной нагрузки) и на отдельные *k* вариантов **динамики**. А потом результаты этих отдельных расчётов складывать.

Они могут быть **посчитаны только вместе** – каждое из соответствующих в жизни реальных групп и конкретных величин нагрузок. Ибо ошибка в амплитудах вынужденных колебаний может быть в несколько раз.

Подчеркнём ещё и **важность работы во временнОй области**. Сегодня задавать силы, ускорения и другие параметры, а также получать решения дифференциальных уравнений движения удобнее всего в виде вибrogramm динамических и полных перемещений, напряжений и т.п.! (В ДБН по проектированию сооружений в сейсмических районах этот путь называется **прямым динамическим методом**).

Нужны новые цели и методы при изучении динамики сооружений и исследованиях и новых, и давно построенных объектов

До ХХI века в большинстве норм проектирования конструкций давались «динамические нагрузки», которые объект должен был выдерживать в условиях нормальной эксплуатации. А под объектом во многих обсуждаемых здесь задачах «старой» и «новой» динамики будем понимать разнообразнейшие современные здания и сооружения (мосты, башни, мачты, эстакады, монументы), объекты и массивы горно-металлургических комплексов, уникальные машины и специальные сооружения. Так вот в ходу до сегодняшних дней был устойчивый инженерный жаргон **«рассчитать НА ...динамику, ...НА эти нагрузки»**. Поэтому целями доклада автора на форуме-2018 [1] и в данной статье являлось рассмотрение и популяризация возможностей **использования тонких динамических характеристик** нелинейных (а значит, - без ошибочного применения принципа суперпозиции) механических систем **ДЛЯ какой-то пользы**.

Например, - **ДЛЯ** предпроектного **формообразования** объекта. **ДЛЯ** его рационального **конструирования**, **ДЛЯ** учёта его безопасного статико-динамического **взаимодействия** со смежными подсистемами инфраструктуры и потоками. **ДЛЯ** оценки **остаточного ресурса** с поиском **повреждённых** элементов и **ДЛЯ** проведения систематической технической **диагностики, мониторинга и паспортизации**. То есть, вместо того, чтобы только **защищаться** от **ВРЕДНОЙ динамики**, предлагается намного больше дополнительных алгоритмов **использования** её **ПОЛЕЗНЫХ** характеристик!

Широко понимая термин **«конструирование»**, например, объектов в виде механических систем (зданий, сооружений, машин) и сред (грунтовых оснований и массивов; воздушных сред, газовых и жидкостных потоков), можно добавлять в него не только **качественные** как бы **художественные** характеристики восприятия, типа **Арт** в технической эстетике и дизайне, но и **количественные**.

И в этом специалистам – «технарям» - удаётся иногда внести облегчение в титаническую работу авторов исследований объектов искусства, в их «художественную неопределенность» и ... ожидание вдохновения. Видимо, так было и в известных принципах «пропорций золотого сечения», в музыкальной «проверке алгеброй гармонии» (Пушкин придумал фразу для «ремесленника» Сальери) и т.п.

Можно предположить для некоторых задач проектирования, безусловно, и возможную большую пользу применения количественно-качественных подходов для обычной проектной работы при создании новых зданий, сооружений, машин и архитектурных объектов - и малых, и монументальных форм. Эта польза может выражаться, например, в найденных рациональных численных границах и закономерностях изменения некото-

рых характеристик. Либо в эстетических, прочностных и иных эффектах проектно-дизайнерского поиска объекта нового типа. Наконец, - во временнОм эффекте быстрого алгоритма нестандартного проектирования и создания одного или нескольких объектов, что бывает определяющим при некоторых **чрезвычайных** обстоятельствах.

Хотелось бы, чтобы большинство из описанных методик и приёмов были как-то учтены и в новомодных **BIM-технологиях** на разных стадиях. Но с жёстко-юридическим контролем при допуске специалистов в архивы документов, особенно в случаях судебных разбирательств аварий после изменения технологий без надлежащего контроля и учёта строительно-расчётных величин, событий типа пожаров и т.п.

Выводы. Конечно, пора методически заменить очень приблизительные расчёты «на динамику» и по простейшей модели **осциллятора**, по неопределённому чаще всего для континуальных систем понятию «**динамического коэффициента**»! Сколько в системе подсистем, столько должно быть учтено (и измерено в натурных условиях) разных **диссипативных** показателей (логарифмических **декрементов** колебаний, причём, - на **разных уровнях амплитуд!**).

Следовательно, нужно создавать в сотрудничестве с мировыми организациями новые ДБН, альтернативные ПК с Пособиями и ЛДК с обучением и сертификацией по экспериментальным технологиям. И параллельно надо уже сегодня начинать переучивать инженеров дополнительно динамике. (Возможно, разработчики ПК увлеклись коммерцией и внешними картинками объектов для заказчиков и покупателей ошибочных ПК).

Талантливый народ быстро обучится, догонит мировой уровень и даст новых Янгелей, Лазарянов, Моссаковских и Бондарей (имена и деятельность которых надо широко «внедрять» в молодёжную среду)! А уж потом подружимся и с И.Маском. И начинать при карантине можно с дистанционного повторения азов динамики, кинематики и даже статики [16, 17, 18].

ЛИТЕРАТУРА

1. Кулябко В.В. О политехнических задачах учебных подразделений, исследующих динамику конструкций, машин, сооружений и движение грунтовых массивов / Сб. науч. трудов междун. конф. «Соврем. инновац. технологии подготовки инжен. кадров для горной пром-ти и трансп-а 2018». – Д.: НГУ, 2018. С.382-390. <http://okmm.nmu.org.ua/ua/CITEPTMTI2018.php>
2. Кулябко В.В. Розвиток динамічних моделей, розрахунків та випробувань складених конструкцій і споруд: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня докт. техн. наук: спец. 05.23.01 «Будів. конструкції, будівлі та споруди» – Дніпро-ськ, 1998. – 32 с.

3. В.Кулябко. Проблемы защиты сооружений от динамических воздействий и о необходимости расширения сотрудничества в области динамики / Будівельні конструкції: Міжвідомчий наук.-техн. зб. наук. праць (будівн-тво) / Будівництво в сейсмічних районах України, вип. 82. Київ, ДП НДІБК, 2015.– С. 328-334.

4. Кулябко В.В. Варианты «digital-компьютерных» специализаций в строительном вузе на примере новых задач динамики конструкций, сооружений и машин / Стройт-во, материаловед-е, машиностр-е: сб. науч. трудов. Вып.86. Серия: Компьютерные системы и информационные технологии в образовании, науке и управлении. – Д.: ГВУЗ ПГАСА, 2015. –С.68-76.

5. Кулябко В.В. О предметной области знаний айтишников специализированных компьютерных наук строительного вуза и её развитии для отрасли / Стройт-во, материаловед-е, машиностр-е // Сб. научн. трудов. Вып. 94. Серия: Компьютерные системы и информ-е технологии в образовании, науке и управлении. – Д.: ГВУЗ ПГАСА, 2016. –С. 107-111. <http://pgasa.dp.ua/ru/science/ISPC/>.

6. Кулябко В.В. При повышенной опасности для страны необходимо повысить безопасность зданий, сооружений и человека / Стройт-во, материаловед-е, машиностр-е // Сб. научн. трудов. Вып. 93. Серия: Безопасность жизнедеятельности. – Д.: ГВУЗ ПГАСА, 2016. – С. 273-276. <http://pgasa.dp.ua/ru/science/ISPC/>

7. V. Kulyabko, V. Chaban, A. Makarov, D. Yaroshenko. Taking account of nonlinear properties of subsystems in problems of dynamic interaction of structures with loads, bases and flows / Nonlinear Dynamics – 2016 : Proceedings of 5th International Conference (September 27-30, 2016) / National Technical University “Kharkov Polytechnic Institute” at al. Kharkov, 2016. - P.125-132. ISBN 978-966-97613-0-9.

8. Кулябко В.В. О связях между нелинейной динамикой, нормами, расчётами, испытаниями и конструированием сейсмостойких объектов /3б. тез доповідей Міжнар. Наук.-техн. Конф. «Проблеми теорії і практики сейсмостійкого будівництва» 25.10.2016. м. Одеса, 2016. – С.66-68. ISBN 978-617-7195-27-5.

9. Кулябко В.В. Новые способы решения сложных задач динамики сооружений созданы, но кто возьмётся за их внедрение и менеджмент? / Стройт-во, материаловед-е, машиностр-е: сб. науч. трудов. Вып.100. Серия: Инновац-е технологии жизненного цикла объектов жилищно-гражд., промышленного и транспортного назначения. – Д.: ГВУЗ ПГАСА, 2017. – С. 97-102. ISSN 2415-7031.

10. В.Кулябко, В.Наумов. Особенности нелинейной динамики сооружений и тенденции её развития в XXI веке / THEORETICAL FOUNDATIONS OF CIVIL ENGINEERING. Polish-Ukrainian Transactions. Польсько-українсько-литовський збірник праць. Vol. 24, pp. 27 – 34, Dnipro 2017. ISBN 978-83-7814-343-7

11. Кулябко В.В. Как снижать инфальтильность и повышать мотивацию студентов, поступивших в строительный вуз на специальность «компьютерные науки» /Стройт-во, материаловед-е, машиностр-е // Сб. научн. трудов. Вып. 101. Серия: Компьют-е системы и информ-е технологии в образовании, науке и управлении. – Д.: ГВУЗ ПГАСА, 2017. –С. 140-145. ISSN 2415-7031. <http://pgasa.dp.ua/ru/science/ISPC/>

12. V. Kulyabko, M. Babenko. 2.8. Synergy of vibroecologists, programmers, inventors and testers of buildings and structures under the evaluation of the impact of the dynamics of structures / Розділ 2.8 в англоязичній монографії S 94 Sustainable housing and human settlement: Monograph / Under the general editorship Savitskyi M. – Dnipro - Bratislava: SHEE “Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture” - Slovak University of Technology in Bratislava, 2018, c.108-115. <http://dropmefiles.com/mEqyS>

-
13. Кулябко В.В. О системных IT- и BIM-уточнениях динамических моделей, расчетов и испытаний при защите и диагностике зданий и сооружений /11-я Всеукр. научно-технич. конф. «Строит-во в сейсмических районах Украины». г.Одесса, ОГАСА, 2018. С.89-91.
14. Кулябко В.В. Как «ввести в резонанс» всемирно известные научные школы Днепра для подъёма инженерного престижа города / Мости та тунелі: теорія, дослідження, практика: Зб. наук. праць Дніпроп. Націон. Унів. Заліз. транспорту ім. акад. В.Лазаряна. – Вип. 13. - Д.: ДІІТ, 2018. – с.46-53.
15. Кулябко В.В. Развитие нелинейной динамики конструкций и её применение в новых технологиях проектирования, испытаний и диагностики зданий и сооружений / Зб. праць «Сучасний рух науки»: тези доп. VII міжнар. науково-практ. інтернет-конфер., 6-7.06.2019 (Ред. Міжнар. Електрон. Наук.-практич. Журн. «WayScience»). Дніпро, 2019, с.960-967. <http://www.wayscience.com/konferentsiya-7-6-7-chervnya-2019/>
16. Кулябко В.В. Цикл видео-лекций в YouTube; в Центр-й гор-й библ-ке Днепра и т.п.: 24.12.15 **1)** «Современные проблемы и новые возможности динамики конструкций зданий, сооружений, машин и сред»; см. канал YouTube Public organisation Open Knowledge (Опубл. 18.08.2018, все видео-лекции и доклады проф. Кулябко В.В.). <https://www.youtube.com/channel/UCDitQdp5xNt7qwhz3TtOrwA>; <http://openknowledge.org.ua/osvitniy-hub-svit-nauky/lektsiya-3-suchasni-problemi-ta-novimozhlivosti-dinamiki-konstruktsiy-budivel-sporud-mashin-ta-seredovishh.html>
17. Кулябко В.В. **2),3)** Видео-Доклад, часть 1 – о создании и 40 лет работы межвузовского молодёжного кружка «Резонанс»; часть 2 – о создании сети Лабораторий Динамики Конструкций (1+2 части доклада на форуме в НГУ-2018). <http://okmm.nmu.org.ua/ua/CITEPTMTI2018.php#.W3wRrMJn2po>.
18. Кулябко В.В. Беседы (для дистанционного обучения) по динамике конструкций и сооружений (для абитуриентов, школьников, студентов, магистров, аспирантов): [Электронный ресурс] Playlist <https://www.youtube.com/playlist?list=PLgGEDGx05-radBTVRQgfjVqwRVwjgj20i>

УДК 62.001.66:7.05:001.51

ХУДОЖНЄ МОДЕЛЮВАННЯ І ФОРМУВАННЯ КОМПЛЕКСНИХ ОБ'ЄКТІВ

А.О. Логінова

кандидат технічних наук, доцент кафедри конструювання, технічної естетики і дизайну, НТУ «Дніпровська політехніка», м Дніпро, Україна, e-mail: An.O.Loginova@gmail.com

Анотація. В роботі широко описаний термін «художня модель», яким позначають одну з найважливіших функцій мистецтва – відображення реальної дійсності за допомогою умовних художніх засобів і образів мистецтва з метою досягнення і розкриття людського сенсу цієї реальності.

Ключові слова: художнє моделювання, теорія дизайну, художня комунікація.

ARTISTIC MODELING AND FORMATION OF COMPLEX OBJECTS

Anastasiia LoginovaPhD, Associate Professor, Department of Engineering and Generative Design, Dnipro University of Technology, Dnipro, Ukraine, e-mail: An.O.Loginova@gmail.com

Abstract. The term 'artistic model' is widely described in the work, which designates one of the most important functions of art - the reflection of reality with the help of conditional art means and images of art in order to achieve and reveal the human meaning of this reality.

Keywords: artistic modeling, design theory, art communication.

Вступ. Термін «модель» прийшов в сферу мистецтва з науки, хоча за довго до цього в саму науку процедура моделювання була введена за аналогією з моделями, які створювалися в мистецтві. Але саме як термін, що несе цілком певне понятійне навантаження, слово «модель» увійшло в мистецтвознавство в 20-і роки ХХ століття, коли представники так званого «формального» або «структурального» напряму в теорії мистецтва зосередили увагу на внутрішній формі (структурі) художнього твору і, відповідно, на тих, прихованих від зовнішнього спостереження інтелектуальних процесах і засобах, що знаходять предметне відображення в формі художнього твору. Саме в цьому ракурсі, тобто такому, що розглядає твір з позиції внутрішньої будови і техніки художнього процесу, розглядається розуміння поєднання мистецтва та реальних життєвих процесів, що стало все частіше визначатися як художнє моделювання [1].

Сказати, що конкретний образ, створений художником, є «моделлю» реальності, це означає зосередити увагу не стільки на змісті, скільки на внутрішній формі твору, тобто на тому, як реальність відображається в творі, як відтворюються і виражуються її суттєві значення, зв'язки, відносини, які в звичайному нашому досвіді безпосередньо не спостережуються або важко розрізняються в повсякденності [2].

Мета роботи. Виділити й описати основні проблематики художнього моделювання і формування комплексних об'єктів, пов'язаних з технологією створення художнього твору як моделі реальної дійсності.

Матеріал і результати досліджень. У цілісній структурі художньої комунікації можна виділити різні зв'язки: автор - твір, автор - адресат, твір - адресат, твір - культура та ін. При цьому, досліджуючи той чи інший зв'язок, важливо утримувати цілісність структури художньої комунікації, а це досягається тим, що основний посередник комунікації – твір, розглядається як засіб моделювання та художнього вираження позицій автора і його адресатів.

З методичної точки зору, тобто з точки зору створення твору, найважливіше значення має зв'язок «автор-твір», в якій, як було сказано, повинні враховуватися і моделюватися також і всі інші зв'язки.

Художня модель - це не просто образний вислів наукової або проектної думки, а саме художній образ як модель реальної дійсності. Такий образ є і предметом проектування і засобом комунікації між професіоналами, а також між дизайнером, замовником і споживачем. Оскільки художня модель вбирає в себе в принципі будь-який світ реальних фактів, остільки все в ній набуває естетичного значення: функція, конструкція, матеріал, середа – загалом вся об'єктивна реальність, що моделюється в проектно-художньому образі. І хоча в реальному дизайні завжди використовується комплекс різних методів і засобів в самих різних поєднаннях і взаємозв'язках, художній метод можна вважати серцевиною дизайнерського підходу і є невід'ємним навіть коли він, здавалося б, в явному вигляді не присутній [3].

Основною проблемою при проектуванні великих комплексних об'єктів є, як правило, розробка типажу виробів, що передбачає в свою чергу виявлення типових споживачів цих виробів. Ні статистика, ні соціологія, ні маркетинговий аналіз не можуть сказати з усією визначеністю, в розрахунку на яких споживачів потрібно проектувати асортимент виробів, що створюються. У таких ситуаціях виявляється дефіцит інформації, який заповнюється актом художнього моделювання.

Програмно-цільовий підхід, будучи одним з джерел ефективної організації діяльності щодо вирішення проблем великого соціального масштабу, виявився недостатнім для того, щоб осмислити цілі та підстави дизайн-концепцій при вирішенні таких проблем.

Комплексний об'єкт і програма для дизайну виявилися чимось значно більшим, ніж просте збільшення обсягу роботи, ресурсів, часу, коштів і т.д. Носієм художніх властивостей і естетичних якостей, а також об'єктом методичного аналізу в цьому випадку виявляється не річ, а проектний образ різних ситуацій функціонування речі в культурі, споживанні, виробництві і т.д. Естетичні установки споживача входять в проектний образ як один з аспектів його змісту. Головна ж увага зосереджується на естетичній позиції дизайнера і відповідних засобах проектно-художнього моделювання. У цьому випадку поняття художнього моделювання відноситься до методу і вказує на певний підхід і джерело засобів для постановки і вирішення проблем [4, 5].

Дизайн при цьому трактується як здатність вирішувати поставлені завдання засобами художнього моделювання різних ситуацій і можливостей їх трансформації до ідеального стану.

Висновок. Якби номенклатура предметного світу мала якусь вивірену часом, цілісну дизайнерську програму, то проектування не призводило б до

спотворення прототипу кожного конкретного предметної середовища. Але сучасна дійсність така, що кожна проектна ситуація – це нова проблема не схожа на іншу. І кожен раз потрібно розробляти цілісну проектно-художню модель проблемної ситуації, що майже завжди пов'язано з виявленням цілісних ансамблів предметного світу.

ЛІТЕРАТУРА

1. Мереняшева М.А. Метод художественно-композиционного моделирования в обучении профессии дизайнера / М.А. Мереняшева // Перспективы науки и образования 2014. – № 2.
2. Мелодинский Д.Л. Школа архитектурно-дизайнерского формообразования – М.: Архитектура, 2004. – 312 с.
3. Логінова А.О., Логвіненко С.О. Про оцінку ефективності дизайнських рішень // Науково-технічна конференція студентів, аспірантів і молодих вчених «Наукова весна 2019». – Дніпро: НТУ «ДП». – 2019.
4. Логінова А.О., Вернер І.В., Кожушкіна Т.Л. Морфологічна трансформація як засіб дизайну // Сборник научных трудов международной конференции «Современные инновационные технологии подготовки инженерных кадров для горной промышленности и транспорта 2019». – Днепр: НТУ «ДП», 2019. – С. 201-205.
5. Логінова А.О., Литовченко А.А., Щелкунов А.Ю. Економічна ефективність художньо-конструкторських розробок технологічного обладнання // Сборник научных трудов международной конференции «Современные инновационные технологии подготовки инженерных кадров для горной промышленности и транспорта 2019». – Днепр: НТУ «ДП», 2019. – С. 205-211.

УДК 004.451

ОБЗОР И АНАЛИЗ СЕМЕЙСТВ ОПЕРАЦИОННЫХ СИСТЕМ ОБЩЕГО НАЗНАЧЕНИЯ И ИХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ

А.И. Мартышкин¹, Д.Э. Ильичов²

¹кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры вычислительных машин и систем, ФГБОУ ВО «Пензенский государственный технологический университет», г. Пенза, Россия, e-mail: Alexey314@yandex.ru

²студент группы 17ИВ16п, Факультет автоматизированных информационных технологий, ФГБОУ ВО «Пензенский государственный технологический университет», г. Пенза, Россия, e-mail: biberlink@mail.ru

Аннотация. В работе проанализировано четыре семейства операционных систем общего назначения и их возможности. По результатам анализа были составлены краткие характеристики используемых алгоритмов планирования и диспетчеризации задач.

Ключевые слова: операционная система общего назначения, алгоритмы планирования, диспетчеризация процессов, вычислительный ресурс, планировщик, приоритет.

OVERVIEW AND ANALYSIS OF GENERAL-PURPOSE OPERATING SYSTEM FAMILIES AND THEIR CAPABILITIES

A.I. Martyshkin¹, D.E. Ilyichov²

¹Ph.D., Associate Professor, Associate Professor of the Department of Computers and Systems, FGBOU VO "Penza State Technological University", Penza, Russia, e-mail: Alexey314@yandex.ru

²Student of group 17iv1bp, Faculty of automated information technologies, FGBOU VO "Penza State Technological University", Penza, Russia, e-mail: biberlink@mail.ru

Abstract. The paper analyzes four families of General-purpose operating systems and their capabilities. Based on the results of the analysis, brief characteristics of the used algorithms for planning and dispatching tasks were compiled.

Keywords: *General-purpose operating system, scheduling algorithms, process dispatching, computing resource, scheduler, priority.*

Введение. В современном мире на повестке дня довольно остро стоит вопрос производительности вычислений. Если для обычного пользователя ПК оптимизация выполняемой им задачи, сократит время её выполнения с одной минуты до 59 секунд, разницу он скорее всего не заметит. Иначе дело обстоит с большими объёмами вычислений [1]. Уменьшение времени выполнения многократно повторяемой задачи с 60 до 59 секунд позволяет выполнить весь объём работ на 1,67% быстрее или выполнить на 1,67% больший объём работ за то же время. Таким образом можно сэкономить около шести суток вычислений в год.

Цель работы. В статье рассматриваются проблемы, связанные с планированием и диспетчеризацией задач на исполнение в операционных системах (ОС). Цель работы состоит в максимизации эксклюзивного использования процессорных ресурсов ОС общего назначения.

Материал и результаты исследований. ОС общего назначения применяются в персональных компьютерах и серверных системах, как правило для работы с данными (вычисления, обработка, хранение). Основным требованием являются широкие функциональные возможности для работы с различными пакетами программ [2].

Низкая стоимость и широкий спектр решаемых задач способствовали широкому распространению персональных компьютеров, а вместе с ними и ОС разделения времени.

Системы такого типа предназначены решать следующие проблемы:

- обеспечивать загрузку компонентов компьютера;
- гарантировать каждой задаче возможность выполнения на процессоре;
- предоставлять задачам объём вычислительных ресурсов в зависимости от их приоритета.

Системы разделения времени используют квантование времени исполнения задач на процессоре. В общем случае, по истечению кванта, задача снимается с процессора, на выполнение выбирается следующая задача. Детали зависят от используемого алгоритма планирования задач на выполнение.

В контексте данной работы имеет смысл обозначить алгоритмы планирования, имеющие реализацию, самостоятельную или в составе более сложного алгоритма:

Первым пришел первым обслужен (First In First Out, FIFO) – выполнение в порядке поступления [3]. Первая готовая задача выполняется на процессоре, каждая следующая встаёт в очередь и ожидает завершения всех предстоящих. Гарантирует исполнение на процессоре в случае, если ни одна из задач не займёт его навечно. Этот алгоритм не относится к разделению времени, так как задачи выполняются последовательно без прерываний.

Циклический (Round Robin, RR) — задачи выполняются циклически фиксированные промежутки времени [4]. По окончанию очередного промежутка, задача встаёт в конец очереди. Для каждой задачи этот процесс повторяется пока она не завершится. Циклический алгоритм гарантирует каждой задаче $1/N$ долю времени на процессоре, где N – общее число задач.

С наименьшим временем исполнения вперёд - на выполнение каждый раз выбирается задача с наименьшим временем, необходимым на её исполнение [4]. Для работы алгоритма требуется знание о времени, которое задаче потребуется.

Вытесняющий алгоритм со статическими приоритетами (Fixed priority preemptive) — на процессоре в любой момент времени выполняется приоритетная задача [5]. При появлении задачи с наивысшим приоритетом, выполняющаяся задача прерывается и встаёт в очередь, освобождая процесс приоритетной. Выполнение низкоприоритетных задач не гарантируется.

Алгоритм планирования по ближайшему крайнему сроку (Earliest Deadline First) — для каждой задачи должен быть определён крайний срок её выполнения, превышение которого лишает смысла дальнейшее её выполнение [6].

Приоритетная очередь — очередь, в которой порядок обработки задачи не зависит от времени её поступления [4]. На выполнение каждый раз выбирается первая задача с наивысшим приоритетом из всей очереди. При

этом возможны две реализации: вытесняющий алгоритм, когда поступающая в очередь задача с приоритетом, большим чем обрабатываемая, вытесняет последнюю с процессора и не вытесняющий алгоритм, когда задача новая задача с наивысшим приоритетом дожидается завершения задачи, которая уже на процессоре.

Многоуровневая очередь (Multilevel Queue) – задачи помещаются в одну из очередей, отличающихся приоритетами, и закрепляется за ней до завершения [5]. На выполнение выбирается задача из приоритетной очереди. Внутри очередей могут реализовываться различные алгоритмы планирования. Например, могут использоваться две очереди для разных классов задач, очередь с первым приоритетом, работающая по принципу FCFS, очередь с вторым приоритетом организована внутри по принципам приоритетной. Задачи первой очереди могут вытеснять с процессора задачи второй очереди. Таким образом возможно организовать совместную работу двух классов задач: обычного приоритета и повышенного, вытесняющего. Multilevel feedback queue – в отличие от многоуровневой очереди, задачи могут перемещаться из одной очереди в другую, обычно после исчерпания своей квоты на процессоре [4].

Накладные расходы складываются из времени, необходимого на планирование, диспетчеризацию задач и сопутствующих им процессов. Время работы планировщика зависит от вычислительной сложности его реализации и, в общем случае, количества задач в системе. Диспетчеризация, как правило, хорошо оптимизирована и сама по себе занимает крайне мало времени, однако сопутствующее переключение контекста влечёт за собой охлаждение кэшей, инвалидацию TLB и, в худшем случае, свопинг. Охлаждение кэшей означает потерю актуальности записей в кэш-памяти и частые кэш-промахи до его прогрева. За кэш-промахом следует обращение к нижестоящему более медленному уровню памяти. TLB содержит адреса виртуальных страниц процесса. Инвалидация TLB выливается в удвоенное число обращений к основной памяти компьютера [7]. Свопинг страниц процесса на диск является способом борьбы с нехваткой памяти. Ненужные в настоящий момент страницы процесса выгружаются на диск, а необходимые загружаются в основную память. Происходит активный обмен с самой медлительной памятью в ПК. При активном свопинге, производительность вычислений снижается многократно [2].

Для рассмотрения функциональных возможностей и используемых алгоритмов планирования/диспетчеризации задач выбраны следующие ОС: FreeBSD 10; GNU\Linux 4; Oracle Solaris 11; Microsoft Windows 7/10.

Выбор ОС для анализа продиктован их распространённостью для всевозможных вычислений, а также желанием охватить различные семейства

ОС с целью выявления наиболее подходящих реализаций требуемого функционала.

Для обозначения самостоятельной единицы диспетчеризации в статье используется понятие “задача”. В терминологии ОС Windows, Solaris и FreeBSD процессом является системная сущность, содержащая необходимое для выполнения программы окружение, в том числе программный код. Потоком называется сущность, хранящая состояние исполнения последовательности инструкций в контексте процесса. У процесса может быть один или несколько потоков [8, 9, 10]. В Linux все потоки фактически являются процессами, разделяющими общие системные ресурсы [11]. Отсутствие необходимости выделять эти ресурсы сокращает расходы на создание потока. В результате получается сущность, диспетчеризуемая как потоки в других ОС. Таким образом, все рассматриваемые ОС в качестве минимальной единицы диспетчеризации используют поток (thread).

Планировщик ядра FreeBSD использует несколько приоритетных очередей выполнения (runqueues, рис. 1а): itqueues, rtqueues, queues, idqueues – в порядке снижения приоритета [12].

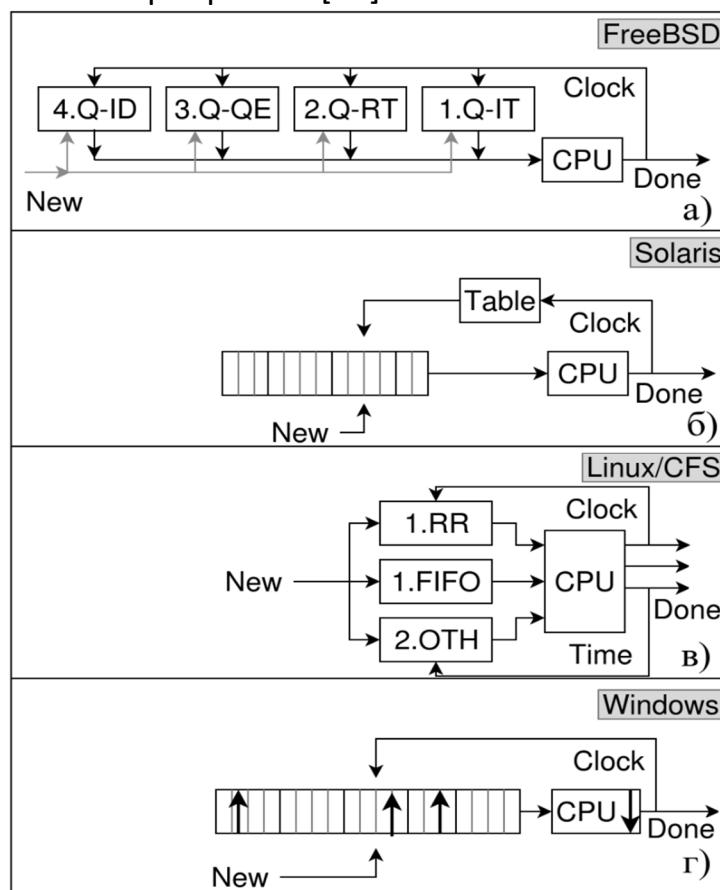


Рисунок 1 – Планировщики операционных систем

Для выполнения на процессоре выбирается приоритетная задача из старшей непустой очереди. Задача принудительно снимается с процессора по истечении выделенного ей кванта времени, её динамический приоритет пересчитывается. Задача помещается в конец списка равноприоритетных задач. Задача, заблокировавшая некоторый общий ресурс, получает приоритет задачи, ожидающей этот ресурс, если он выше.

Планировщик ОС Solaris использует количество списков по количеству приоритетов и таблицу их преобразования (рис. 1б). Приоритет задачи, израсходовавшей свой квант времени, снижается, однако вместе с тем, увеличивается следующий её квант. Наоборот, задача, освободившая процессор до исчерпания кванта, получает повышенный приоритет и меньший квант. Таким образом, время ожидания небольших периодических задач снижается, они быстрее попадают на процессор, а большие вычислительные задачи исполняются более эффективно, потому что реже снимаются с процессора.

Задачи, блокирующие системные ресурсы, получают повышенный приоритет, что снижает время исполнения таких задач, приближает время освобождения ресурса и уменьшает время простоя ожидающих ресурс задач.

Планировщик, находящийся в основной ветке разработки ядра Linux - CFS, использует несколько различных структур данных (рис. 1в) [13]. Задачи класса Deadline имеют чётко обозначенную продолжительность исполнения и крайний срок исполнения. Они планируются на процессор в соответствии с алгоритмом Earliest Deadline First.

Задачи реального времени имеют статические приоритеты и диспетчеризуются по одному из двух алгоритмов: FIFO или Round Robin. Во втором случае используются фиксированные кванты времени, после окончания которого, задача помещается в конец списка для своего приоритета. В первом случае, приоритетная задача исполняется целиком, не прерываясь.

Для обычных задач CFS реализует алгоритм взвешенной справедливой очереди. Назначаясь на процессор, задача получает промежуток времени на исполнение, пропорциональный времени ожидания в очереди и обратно пропорциональный числу готовых к исполнению задач.

Планировщик задач ОС семейства Windows использует несколько классов и уровней приоритетов: низкий, средний, высокий и по два промежуточных (см. рис 1г). Для одной задачи программным способом назначается базовый приоритет. На выполнение всегда выбирается наиболее приоритетная задача. Планировщик ядра, может увеличивать её приоритет в одном из четырёх случаев:

- появляется событие, такое как пользовательский ввод, ожидающее обработки задачей;

- задача выполняется в интерактивном режиме на переднем плане;
- происходит разблокировка задачи;
- периодически случайным образом повышается приоритет готовых к выполнению задач.

После исчерпания очередного кванта времени на процессоре, динамический приоритет задачи снижается на единицу, но не ниже базового. Таким образом, планировщик борется с эффектом “голодания”, повышая приоритеты ожидающих задач и приводя их в норму, по мере снижения этого эффекта. Также поощряются интерактивные процессы.

ОС FreeBSD, Linux и Solaris обеспечивают поддержку Pthreads – POSIX совместимой библиотеки, предоставляющей единый интерфейс для работы с многопоточными приложениями.

Solaris также предоставляет собственный интерфейс Solaris Threads, реализованный ещё до Pthreads. Solaris threads предоставляют такие возможности как управление уровнем параллелизма, усыпление/пробуждение потоков, механизм блокировок по чтению/записи, возможность создать поток-демон. В противовес они не поддерживают отмену потоков и стратегии планирования POSIX.

Windows имеет собственную реализацию потоков - Windows Threads. Интерфейс имеет множество функциональных возможностей, не предусмотренных в POSIX, таких как: планирование в контексте пользователя, волокна (fiber), вручную диспетчеризуемые в контексте потока, критические секции в качестве примитива синхронизации.

В таблице 1 приведены краткие сведения об интерфейсах работы с потоками, планировщиками и их конфигурации.

Таблица 1 – Интерфейсы операционных систем

Семейство ОС	FreeBSD	GNU/Linux	Solaris	Windows
Управление потоками	POSIX.1 pthreads			Windows Threads
Интерфейс планировщика	sched_setscheduler(SCHED_FIFO)			SetPriorityClass(REALTIME_PRIORITY_CLASS)
Привязка вычислительному ядру	pthread_setaffinity_np	sched_setaffinity	processor_bind	SetThreadAffinityMask

Выводы. Как видно из таблицы, ОС FreeBSD, Linux, Solaris поддерживают интерфейсы, стандартизованные POSIX [14], а потому код, реализующий работу через эти интерфейсы, будет легко переносим между системами. Стандартом POSIX не описан функционал привязки потока к вычислительному

ядру, однако соответствующие возможности есть во всех рассмотренных ОС, хотя совместимость отсутствует.

ЛИТЕРАТУРА

1. Филиппенко П. Н., Шашелов А. А., Сеитова С. В. Построение систем, обрабатывающих большие вычисления: проблемы и тенденции // Известия Южного федерального университета. Технические науки. – 2010. – Т. 113. – №. 12.
2. Таненбаум Э. С., Херберт Б. Современные операционные системы. 4-е изд. – "Издательский дом "Питер" ", 2015.
3. Zhao W., Stankovic J. A. Performance analysis of FCFS and improved FCFS scheduling algorithms for dynamic real-time computer systems //Real Time Systems Symposium, 1989., Proceedings. – IEEE, 1989. – С. 156-165.
4. Silberschatz A. et al. Operating system concepts. – Reading : Addison-wesley, 1998. – Т. 4.
5. Unice W. K. Deterministic preemption points in operating system execution: пат. 6802024 США. – 2004.
6. Chiussi F. M., Sivaraman V. Guaranteeing data transfer delays in data packet networks using earliest deadline first packet schedulers: пат. 6532213 США. – 2003.
7. Chen J. B., Bershad B. N. The impact of operating system structure on memory system performance //ACM SIGOPS Operating Systems Review. – ACM, 1994. – Т. 27. – №. 5. – С. 120-133.
8. McDougall R., Mauro J. Solaris internals: Solaris 10 and OpenSolaris kernel architecture. – Pearson Education, 2006.
9. Baldwin J. H. Locking in the Multithreaded FreeBSD Kernel //BSDCon. – 2002. – С. 27-35.
10. Cohen A., Woodring M. Win32 Multithreaded Programming. – O'Reilly & Associates Incorporated, 1998.
11. Drepper U., Molnar I. The native POSIX thread library for Linux //White Paper, Red Hat Inc. – 2003.
12. McKusick, Marshall Kirk, Keith Bostic, Michael J Karels, and John Quarterman. The Design and Implementation of the 4.4BSD Operating System. Reading, Mass.: Addison-Wesley, 1996.
13. Бовет Д., Чезати М. Ядро LINUX, 3-е изд. – БХВ-Петербург, 2007.
14. Butenhof D. R. Programming with POSIX threads. – Addison-Wesley professional, 1997.

УДК 004.451

МОДУЛЬ ПРИНУДИТЕЛЬНОЙ ДИСПЕТЧЕРИЗАЦИИ ПРОЦЕССОВ ДЛЯ ОПЕРАЦИОННЫХ СИСТЕМ ОБЩЕГО НАЗНАЧЕНИЯ

А.И. Мартышкин

кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры вычислительных машин и систем, ФГБОУ ВО «Пензенский государственный технологический университет», г. Пенза, Россия, e-mail: Alexey314@yandex.ru

Аннотация. В статье после проведения обзора существующих подходов и методов принято решение о подходе, используемом для решения рассматриваемой проблемы. Был выбран и реализован в виде модуля способ выделения ресурсов, основанный на общих для рассмотренных систем механизмах. Модуль запускает вычисления в конфигурации, соответствующей топологии системы, задает политику планирования реального времени для потоков, назначает их на доступные вычислительные ядра, самостоятельно диспетчеризует исполнение задач.

Ключевые слова: операционная система общего назначения, алгоритмы планирования, диспетчеризация процессов, вычислительный ресурс, планировщик, приоритет.

MODULE FOR FORCED PROCESS DISPATCHING FOR GENERAL-PURPOSE OPERATING SYSTEMS

A.I. Martyshkin

Ph.D., Associate Professor, Associate Professor of the Department of Computers and Systems, FGBOU VO 'Penza State Technological University', Penza, Russia, e-mail: Alexey314@yandex.ru

Abstract. In the article, after reviewing the existing approaches and methods, a decision was made on the approach used to solve the problem under consideration. A resource allocation method based on the mechanisms common to the systems considered was selected and implemented as a module. The module runs calculations in a configuration that corresponds to the system topology, sets a real-time scheduling policy for threads, assigns them to available computing cores, and independently dispatches task execution.

Keywords: General-purpose operating system, scheduling algorithms, process dispatching, computing resource, scheduler, priority.

Введение. Не всегда есть возможность оптимизировать сами вычисления [1]. Задача в процессе выполнения проходит несколько этапов. В том числе инициализацию, ожидание процессора, ожидание других ресурсов, выполнение на процессоре, завершение.

Инициализация включает создание необходимых ядру операционной системы (ОС) структур данных, загрузку образа программы в основную память, открытие необходимых файлов, выделение других ресурсов, первичное планирование исполнения на процессоре.

Ожидание процессора в очереди готовых задач является нормой для многозадачных систем с разделением времени. Как правило, на процессоре выполняется приоритетная задача, в то время как остальные ожидают в очереди. Ядро ОС оперирует динамическими приоритетами, не позволяя никакой задаче монополизировать процессор [2].

Выполнение задачи на процессоре в какой-то момент времени означает исполнение ее кода в этот момент процессором. Когда для дальнейшего выполнения задачи необходимо наступление некоторого события, задача встает в очередь, ожидающих этого события. Таким событием может быть окончание ввода-вывода без участия ЦП, освобождение системного ресурса (например, примитива синхронизации) и др. Время ожидания ввода-вывода зависит от нагрузки и пропускной способности подсистемы ввода-вывода. Время выполнения на процессоре зависит от оптимизации программного кода. Время ожидания в очереди готовых задач зависит от их количества в системе, их вычислительной мощности, соотношения приоритетов и конфигурации планировщика/диспетчера ОС. Время инициализации практически полностью зависит от реализации ОС [2].

Цель работы. Цель работы состоит в максимизации эксклюзивного использования процессорных ресурсов в ОС общего назначения. Поставленная задача: разработать программный модуль для запуска вычислений в приоритетном режиме, минимизации накладных расходов на планирование и диспетчеризацию.

Материал и результаты исследований. Для организации вычислительного процесса выбрана схема, использующая общие принципы, реализованные в ОС FreeBSD 10, GNU\Linux 4, Oracle Solaris 11, Microsoft Windows 7/10.

Для максимизации времени вычислительных задач на процессоре и минимизации количества переключений контекста выбрана стратегия планирования SCHED_FIFO. Это позволяет закрепить на процессоре необходимое число потоков, не вытесняемых по таймеру. Задачи реализуются в качестве функций, содержащихся в очереди в контексте приложения. Диспетчеризация задач состоит в сохранении результата, возвращаемого функцией, чтении и сдвиге указателя, вызове новой функции. Для исключения возможных миграций потоков между процессорами применяется явное указание на каком процессоре выполняться. Также запрещены программные прерывания.

При старте приложения определяется топология системы, количество процессоров, физических и логических ядер. В Linux эта информация извлекается

из унифицированной виртуальной файловой системы sysfs, служащей интерфейсом к структурам ядра. Виртуальный каталог /sys/devices/system/cpu/ содержит подкаталоги вида cpuN с файлами, описывающими топологию и состояние соответствующего логического ядра с номером N.

```
int topology (int ** cpus)
{
    struct dirent ** cpusdir; int c, count;
    count = scandir (SYSFS_CPU, &cpusdir, cpu_dir_filter, alphasort);
    if ((*cpus = malloc (sizeof(int) * count)) == NULL)
    {
        err (EXIT_FAILURE, "can't allocate memory for " \ "cpus array");
    }
    for (c=0; c < count; ++c)
    {
        assert (1 == sscanf (cpusdir[c]->d_name, "cpu%d", &(*cpus)[c]));
    }
    return count;
}
```

После определения топологии принимается решение за какими вычислительными ядрами следует закрепить вычислительные потоки.

```
cpu_set_t set;
/* ... */
if (tharg -> cpu >= 0) /* if < 0, do not bind */
{
    CPU_SET (tharg -> cpu, &set);
    if ( -1 == sched_setaffinity ( 0, sizeof(set), &set ) )
    {
        err (EXIT_FAILURE, "Can't set affinity mask");
    }
}
```

Для организации вычислений принято решение разработать модуль, подготавливающий потоки для вычислений и запускающий задачи. Каждый поток выполняется на отдельном ядре / процессоре, их количество равно количеству ядер минус один. Одно ядро выделяется под нужды различных системных и пользовательских задач. Таким образом достигается максимальная степень параллелизма, при сохранении отзывчивости системы. Так как стратегия разделения процессорного времени не позволяет монополизировать ядра для полезных вычислений, было принято решение счетные задачи перевести в класс realtime – наиболее приоритетный в системе. Realtime задачи получают максимальный приоритет, не меняющийся в зависимости от времени выполнения на процессоре, и никогда не вытесняются низкоприоритетными задачами. Счетные задачи получают максимум процессорного времени.

Выбран алгоритм диспетчеризации задач на процессор FIFO так как этот алгоритм влечет минимум накладных расходов и прост в реализации. Кванто-

вание времени не используется, задача не снимается с процессора принудительно, пока не будет выполнена до конца. Нет лишних переключений контекста, кэши “разогреты” подавляющую часть времени и работают эффективно.

Обработку прерываний возможно назначить на конкретное ядро, для этого используется интерфейс виртуальной файловой системы proc. Файл /proc/irq/M/smp_affinity (где M - номер прерывания) содержит маску, каждый единичный бит которой означает разрешение на обработку ядром с соответствующим номером. Разработанный модуль при старте осуществляет запись маски, соответствующей свободному ядру. Например, ядру с индексом 3 соответствует маска 8.

Прикладная очередь содержит указатели на функцию и передаваемый ей аргумент. Счетные потоки самостоятельно осуществляют выборку задачи, копируя указатели на функцию и аргумент в свой локальный контекст и сдвигая указатель текущего элемента очереди. Для совместного доступа используется примитив синхронизации мьютекс.

Измерения производились на основе счетчиков, встроенных в центральный процессор и ядро операционной системы Linux (начиная с версии 2.6.31) утилитой perf [17]. Измерялось количество переключений контекста, TLB-промахов, кэш-промахов первого и последнего уровня, количество миграций с процессора на процессор, суммарное время выполнения.

Тестовый запуск и замеры проводились на компьютере с процессором Intel® Core™ i5 6200U, под управлением операционной системой GNU/Linux (архитектура x64, версия ядра 4.4.0-79-generic). Подробное описание процессора:

- Количество физических ядер: 2.
- Количество логических ядер: 2.
- Тактовая частота 2.30 ГГц.
- Кэш инструкций L1: 32 КБ на ядро.
- Кэш данных L1: 32 КБ на ядро.
- Кэш L2: 256 КБ на ядро.
- Кэш L3: 3 МБ на процессор.

Количество основной памяти, выделенное ядру операционной системы, составляет 2ГБ.

В качестве полезной нагрузки была выбрана задача, реализующая циклический обход массива с изменяющимся шагом и наращиванием значений элементов. Размер массива составляет 5 МБ. Внешняя нагрузка моделируется четырьмя процессами, активно выполняющими операции с памятью (для чего они выделяют суммарно 1,5 ГБ памяти).

Время вычислений (time) с предлагаемым модулем практически не зависит от нагрузки на систему, создаваемой сторонними программами. Сведены к минимуму такие негативные эффекты, как миграция на другое вычислительное

ядро (сри-migration) во время выполнения, переключения программного контекста (context-switches). Количество промахов TLB (dTLB-load-misses, dTLB-store-misses) снижено в среднем до 1,45% от изначального количества.

Показатели кэш-промахов (cache-misses) практически не изменяются на протяжении эксперимента, что, по-видимому, связано с особенностью реализации тестовых задач: алгоритм циклического обхода массива в несколько мегабайт, с шагом значительно больше единицы, не позволяет разместить этот массив в кэше процессора.

Выводы. Действенность описываемого модуля подтверждена тестовыми запусками и измерениями таких показателей как время выполнения, количество переключений программного контекста и обращений во внешнюю память.

Работа выполнена при финансовой поддержке стипендии Президента РФ молодым ученым и аспирантам на 2018-2020 гг. (СП-68.2018.5).

ЛИТЕРАТУРА

1. Таненбаум Э. С., Херберт Б. Современные операционные системы. 4-е изд. – "Издательский дом "Питер" ", 2015.
2. Silberschatz A. et al. Operating system concepts. – Reading : Addison-wesley, 1998. – Т. 4.

УДК 303.732

ОПИСАНИЕ ПОНЯТИЯ И СТРУКТУРЫ СИСТЕМЫ И ЕЕ КОМПОНЕНТОВ

А.И. Мартышкин¹, Д.Э. Ильичов²

¹кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры вычислительных машин и систем, ФГБОУ ВО «Пензенский государственный технологический университет», г. Пенза, Россия, e-mail: Alexey314@yandex.ru

²студент группы 17ИВ16п, Факультет автоматизированных информационных технологий, ФГБОУ ВО «Пензенский государственный технологический университет», г. Пенза, Россия, e-mail: biberlink@mail.ru

Аннотация. В статье определены понятия системы, описывается структура системы за счет определения ее компонентов. Приведены различные классификации систем. Отдельно рассмотрены недетерминированные системы, их сравнение с детерминированными. Раскрыта специфика исследования и моделирования недетерминированных систем.

Ключевые слова: система, исследование, классификация, элементы, внешняя среда, взаимодействие.

DESCRIPTION OF THE CONCEPT AND STRUCTURE OF THE SYSTEM AND ITS COMPONENTS

A.I. Martyshkin¹, D. E. Ilyichov²

¹Ph.D., Associate Professor, Associate Professor of the Department of Computers and Systems, FGBOU VO "Penza State Technological University", Penza, Russia, e-mail: Alexey314@yandex.ru

²Student of group 17iv1bp, Faculty of automated information technologies, FGBOU VO "Penza State Technological University", Penza, Russia, e-mail: biberlink@mail.ru

Abstract. The article defines the concepts of the system, describes the structure of the system by defining its components. Various classifications of systems are given. Nondeterministic systems and their comparison with deterministic ones are considered separately. The specifics of research and modeling of nondeterministic systems are revealed.

Keywords: system, research, classification, elements, external environment, interaction.

Введение. На сегодняшний день системы, обладающие структурной и поведенческой сложностью, распространены во всех сферах жизнедеятельности человека и поэтому их исследование представляет наибольшую важность. Такие системы в противоположность детерминированным системам называют недетерминированными. Они отличаются трудно предсказуемым поведением, которое определяется случайными воздействиями как извне, так и в самой системе (при их наличии). Ярким примером недетерминированной системы служат места массового скопления людей (аэропорты, гипермаркеты, торговые центры и т.д.), заводы, а также сети и системы ЭВМ.

Цель работы. Целью данной работы является проектирование класса, ориентированного на поддержку элементов дискретно-событийной модели.

Материал и результаты исследований. Принцип системности прочно вошел в жизнь современных людей. Благодаря систематизации мы научились не только организовывать свою деятельность, но также управлять сложными системами. Среди ученых стал возрастать интерес к данной проблеме. В результате активной научной деятельности появилась отдельная наука о теории систем. На начальных этапах ее становления как науки повлиял Л. фон Берталанфи, А.А. Богданов и другие.

Основное содержание теории систем в то время было сосредоточено преимущественно на теоретических вопросах, раскрывающих особенности функционирования систем, их классификации и выборе методов для исследования систем. Ближе к середине XX века в теории систем стали появляться новые направления, занимающиеся поиском решения задач в обла-

сти управления системами на практическом уровне. К ним относятся: имитационное моделирование, ситуационное управление, структурно-лингвистическое моделирование, информационный подход и др.

Системный подход позволяет решать задачи, связанные с управлением таких сложных систем, к которым можно отнести все производственные предприятия, муниципальные структуры, управление наземным и воздушным транспортом, система связи и другое. В основе такого подхода лежит принцип системности, суть которого отражает понятие системы.

За всю долгую историю становления научного знания у системы появилось множество понятий, которые формировались по мере того, как менялись и расширялись представления ученых о том, что такое система. Система – это:

- Порядок, обусловленный правильным, закономерным расположением частей в определенной связи [1].
- Множество элементов, находящихся в отношениях и связях друг с другом, которое образует определенную целостность, единство [2].
- Объективное единство закономерно связанных друг с другом явлений, знаний, предметов, определенной последовательности действий, а также совокупность технических средств, объединённых общими целенаправленными взаимодействиями норм, отношений, устройств и связей между ними, образующих некоторую целостность, единство и подчиненных определенному руководящему принципу или общей функции [3].
- Отражение в сознании субъекта (исследователя, наблюдателя) свойств объектов и их отношений в решении задачи исследования, познания» [4].

Различия в трактовке понятия «система» позволяет нам проследить историю развития представлений о значении системы. Первые два понятия отражают более раннее представление о системе, в которых в качестве ключевых признаков понятия указывается наличие элементов и связей между ними. Затем в качестве такого признака к существующим стали добавлять цель системы (функцию). Спустя некоторое время ученые расширили понятие системы, добавив в него в качестве обязательного компонента наличие наблюдателя – действующее лицо, принимающее участие в процессе систематизации.

Все указанные (приведенные) выше определения системы построены с использованием понятий «элемент», «связь», «взаимодействие», «цель», «структура». Совокупность этих понятий характеризует строение системы. Разберем каждое понятие в отдельности. Под элементом системы понимают самостоятельную и независимую часть системы, в которую он входит. Это базовая составляющая любой системы.

Наличие связи между элементами указывает на наличие зависимости свойств одних элементов от других. Характер такой связи может быть как

односторонним, так и двусторонним. Взаимодействие – процесс взаимного влияния элементов, системы и внешней среды друг на друга [4].

Помимо названных компонентов в качестве основных также указывают структуру системы, внешнюю среду. Структура системы отражает определенные взаимосвязи, “взаиморасположение составных частей системы, ее устройство, строение” [5]. Внешней средой называют существующие в мире другие системы (естественные или искусственные), которые оказывают воздействие на данную систему [6].

Подсистема модели представляет собой структуру, входящую в состав более сложной и крупной системы. При этом подсистема имеет свои собственные специфические свойства, а также цели, которые она выполняет самостоятельно. Признаки системы:

- целостность системы проявляется в ее независимости от окружающей среды и влияния других систем;
- связанность – наличие связей между элементами системы, которые делают их единым целым;
- целенаправленность – способность системы выполнять определенную функцию, когда каждый элемент системы вносит вклад в ее реализацию;
- эмерджентность – возникновение качественно новых свойств, не сводимых к существующим свойствам системы [7].

Систему можно охарактеризовать в зависимости от следующих признаков: взаимодействие с внешней средой, структура системы, характер функций, характер развития, степень организованности, сложность поведения, по назначению и многие другие.

Приведем характеристику систем, основываясь на наиболее важных признаках их классификации.

Таблица 1 – Классификация систем

Признак классификации	Описание системы	Примеры
Взаимодействие с внешней средой	Открытые системы находятся в активном взаимодействии со средой, происходит обмен информацией, веществом и энергией	Живые организмы
	Закрытые системы находятся в относительной изоляции, обмениваются не веществом, а исключительно энергией	Герметичная упаковка
Степень сложности (структура)	Большие системы объединения крупных элементов, которые по своей структуре относятся к сложным системам. Трудно поддаются	Системы связи

	описанию и управлению	
	Сложные системы состоят из отдельных связанных и взаимодействующих элементов, каждый из которых можно представить в виде системы (подсистемы)	Социальная группа
	Простые системы имеют в своей структуре неделимые элементы, легко поддаются математическому описанию посредством формул и законов	Элементы электронных схем
Характер связи между элементами	Детерминированные системы – это такие системы, для которых, зная начальные значения, легко определить их последующее состояние в любой момент времени	Работа электроприборов ЭВМ
	Стохастические системы являются неопределенными и каждое изменение состояния такой системы носит стихийный характер	Профессиональные и непрофессиональные объединения людей
Степень изменчивости свойств	Статические системы не изменяются во времени и всегда находятся в одном состоянии	Система «вода – насыщенный пар»
	Динамические системы изменяются во времени как дискретно, так и непрерывно, в связи с чем имеют множество возможных состояний	Динамика численности изолированной популяции Распространение эпидемии
Степень организованности	В хорошо организованных системах четко определены элементы, связи между ними. Такие системы имеют детерминированное описание	Солнечная система
	Плохо организованные (диффузные) системы характеризуются некоторым набором макропараметров и закономерностей, полученным в ходе выборочного исследования компонентов, которые с некоторой долей вероятности могут описать исследуемый процесс или объект. При описании применяется метод качественного анализа	Исследование пропускной способности системы

Продолжение таблицы 1

	Развивающиеся (самоорганизующиеся) системы по своей природе приближены к реально развивающимся объектам. Отличительной особенностью исследования систем является сочетание формальных методов и методов качественного анализа.	Проектирование сложных технических комплексов Разработка и исследование систем управления организацией
--	---	--

Помимо названных критериев, по которым можно разделить системы на классы, также встречаются следующие критерии (рисунок 1).



Рисунок 1 – Классификация систем

Рассмотрим каждую из выделенных групп в отдельности и определим отличительные особенности системы в зависимости от признака классификации. Все системы предлагается разделить на реальные и абстрактные по признаку природы их элементов.

Реальные системы имеют материальную оболочку, то есть состоят из материальных объектов и являются доступными для восприятия человека.

Реальные системы делятся на естественные и искусственные. В основе этого деления лежит принцип происхождения систем.

Естественные системы возникли под влиянием сил природы. К ним относится климат, солнечная система, растительный мир, животный мир, почва и т.д. Среди естественных систем различают физические и биологические.

В результате активной творческой, научной, практической деятельности человека появились искусственные системы.

К искусственным системам относят технические, социальные, организационно-технические.

Абстрактные системы являются продуктом мыслительной деятельности людей: идеи, планы, гипотезы, теории и т.д.

Среди них выделяют системы непосредственного отображения и генерализующие. Системы непосредственного отображения описывают определенные аспекты реальных систем на языке математических формул. К ним относят математические модели и логико-эвристические модели. Генерализующие системы отражают окружающую действительность через обобщенное представление о ней. Подразделяются на концептуальные модели и языки.

Выводы. Описанные классификации дают представление о многообразии систем, но при этом их нельзя считать всеобъемлющими. Каждую из предложенных классификаций можно дополнить и расширить. В статье рассмотрено что такие системы и определены ее основные компоненты. Определены различные виды систем, дана их характеристика. Отдельно рассмотрены недетерминированные системы, особенности их исследования и моделирования.

ЛИТЕРАТУРА

1. Толковый словарь Ушакова <https://ushakovdictionary.ru/> (дата обращения: 03.04.2020).
2. Экономико-математический словарь: Словарь современной экономической науки. — 5-е изд., перераб. и доп. — М.: Дело, 2003. – 520 с.
3. Большая политехническая энциклопедия [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://find-info.ru/doc/encyclopedia/large-polytechnical/fc/slovar-209-2.htm#zag-2346> (дата обращения: 03.04.2020).
4. Системный анализ в управлении экономикой / Ю. И. Черняк. — М.: Экономика, 1975. — 191 с.
5. Большая советская энциклопедия [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://dic.academic.ru/contents.nsf/bse/> (дата обращения: 03.04.2020).
6. Теория систем и системный анализ / В.Н. Чернышов, А.В. Чернышов. – Тамбов: Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2008. – 96 с.
7. Теория систем и системный анализ / В. Н. Волкова, А. А. Денисов. — 2-е изд., перераб. и доп. — М.: Юрайт, 2014. — 616 с.

УДК 004.942

ОБЗОР И АНАЛИЗ РАЗЛИЧНЫХ ПОДХОДОВ К КЛАССИФИКАЦИИ МОДЕЛЕЙ

А.И. Мартышкин¹, Д.Э. Ильичов²

¹кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры вычислительных машин и систем, ФГБОУ ВО «Пензенский государственный технологический университет», г. Пенза, Россия, e-mail: Alexey314@yandex.ru

²студент группы 17ИВ16п, Факультет автоматизированных информационных технологий, ФГБОУ ВО «Пензенский государственный технологический университет», г. Пенза, Россия, e-mail: biberlink@mail.ru

Аннотация. Статья посвящена теории моделирования систем. В работе определены понятия модели и моделирования, подробно рассмотрены и описаны различные подходы к классификации моделей. Раскрыты основные принципы моделирования, описана последовательность шагов моделирования. В качестве метода исследования сложных систем отдельно рассмотрено имитационное моделирование, показано его преимущества перед традиционными видами моделирования систем. Приведена базовая классификация имитационных моделей.

Ключевые слова: моделирование, имитационное моделирование, метод, классификация, система, исследование.

REVIEW AND ANALYSIS OF VARIOUS APPROACHES TO MODEL CLASSIFICATION

A.I. Martyshkin¹, D.E. Ilyichov²

¹Ph.D., Associate Professor, Associate Professor of the Department of Computers and Systems, FGBOU VO ‘Penza State Technological University’, Penza, Russia, e-mail: Alexey314@yandex.ru

²Student of group 17iv1bp, Faculty of automated information technologies, FGBOU VO ‘Penza State Technological University’, Penza, Russia, e-mail: biberlink@mail.ru

Abstract. The article is devoted to the theory of system modeling. The paper defines the concepts of model and modeling, and describes in detail various approaches to classifying models. The basic principles of modeling are disclosed, and the sequence of modeling steps is described. As a method for studying complex systems, simulation modeling is considered separately, and its advantages over traditional types of system modeling are shown. The basic classification of simulation models is given.

Keywords: modeling, simulation, method, classification, system, research.

Введение. Для того, чтобы выбрать подходящий метод моделирования недетерминированной системы, раскроем содержание понятий модели и моделирования, опишем основные виды моделей и рассмотрим процесс моделирования, требования и принципы, которые необходимо соблюдать при создании модели. Кроме того, опишем метод имитационного моделирования, который возьмем за основу разработки недетерминированного конечного автомата.

Цель работы. Цель работы состоит в описании и выборе наиболее подходящего метода моделирования недетерминированной системы.

Материал и результаты исследований. Для того, чтобы выбрать подходящий метод моделирования недетерминированной системы, раскроем содержание понятий модели и моделирования, опишем основные виды моделей и рассмотрим процесс моделирования, требования и принципы, которые необходимо соблюдать при создании модели. Также опишем метод имитационного

моделирования, который возьмем за основу разработки недетерминированного конечного автомата. Одним из основных инструментов для исследования систем является модель. В настоящее время сложно однозначно ответить на вопрос, что такое модель, так как это понятие имеет множество значений. В контексте данной научной работы мы будем обращаться к следующему определению модели. Модель – это материальный или мысленно представляемый объект, который в процессе исследования замещает объект-оригинал, сохраняя при этом все его важные для данного исследования свойства. [16]. Наука по-разному отвечает на вопрос, что такое моделирование. Моделирование – это построение моделей реально существующих объектов (предметов, явлений, процессов); замена реального объекта его подходящей копией – имитация; исследование объектов познания на их моделях.

В широком смысле о моделировании говорят, как о методе познания, состоящем в создании и исследовании моделей. Общую схему моделирования можно представить следующим образом (рисунок 1).

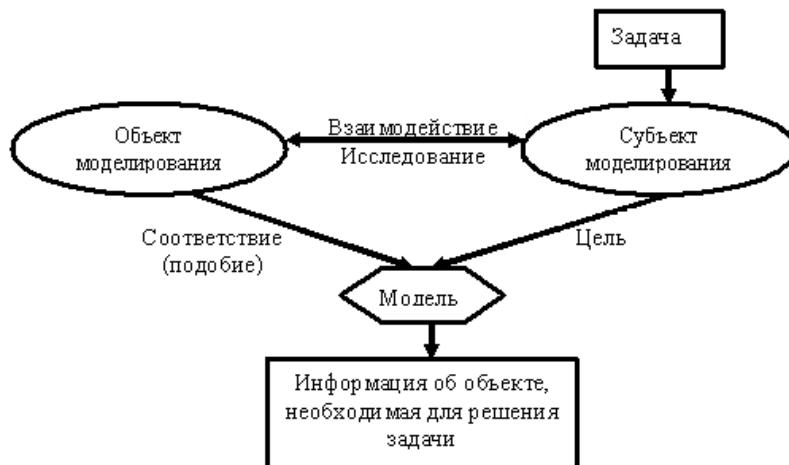


Рисунок 1 – Схематичное представление процесса моделирования

История моделирования начинается еще с древнейших времен, наскальной живописи. Наскальные рисунки древних людей возникли из стремления познать окружающую действительность. С тех пор люди активно применяют метод моделирования во всех сферах жизнедеятельности. Моделирование позволяет решать задачи любой степени сложности в зависимости от целей деятельности человека.

Моделирование – процесс построения, изучения и применения моделей [17]. Суть процесса заключается в переносе исследовательской деятельности с объекта-оригинала на его заместителя.

В процессе создания модели нужно соблюдать следующие принципы:

1 Принцип информационной достаточности. Для построения модели исследуемого объекта необходимо обладать объемом необходимой информации об этом объекте. При недостатке информации будет невозможно создать модель, а при ее избытке, необходимость в создании модели пропадает.

2 Принцип осуществимости. Создаваемая модель должна отвечать целям и задачам исследования для достижения намеченных результатов.

3 Принцип множественности. Если необходимо изучить все стороны исследуемого явления, для этого потребуется создание большого числа моделей, каждая из которых будет отражать конкретный аспект действительности.

4 Принцип агрегирования. Для удобства исследования и последующего принятия решений на основе созданной модели рекомендуется представлять ее структуру как совокупность подсистем. Это позволит рассмотреть разные варианты построения модели.

5 Принцип параметризации. Прием представления модели в виде системы с незаданными параметрами используется для сокращения объемов вычислений и продолжительности моделирования.

Процесс моделирования по своей природе является циклическим, так как на любом этапе проектирования модели мы можем вернуться к предыдущему шагу и внести необходимые поправки. Ниже представлены ключевые этапы моделирования.

1 Постановка задачи моделирования.

- a) Первичный эмпирический анализ проблемной области.
- b) Постановка задачи в терминах гипотез и определения зависимых переменных (циклы, потребление ресурсов и т.д.)
- c) Выбор уровня детализации для моделирования и имитации.
- d) Согласование сформулированных гипотез и моделирование уровня детализации относительно ожидаемых результатов.
- e) Выбор языка концептуального моделирования (сети Петри,
- f) модели массового обслуживания и т.д.) и методов моделирования (диаграммы классов, словарь данных, списки и т. д.).

2 Разработка концептуальной модели [16].

Остановимся на самых значимых для исследования признаках классификации моделей.

- 1 степень полноты модели;
- 2 характер моделируемого свойства объекта;
- 3 характер процессов, протекающих в объекте моделирования;
- 4 способ реализации модели [17].

Схема классификации моделей согласно указанным признакам представлена на рисунке 2.



Рисунок 2 – Схема классификации моделей

В зависимости от степени схожести модели с объектом-оригиналом выделяют полные, неполные и приближенные модели. Полные модели строятся на подобии исследуемого объекта, неполные модели характеризуются неполным подобием, а приближенные модели затрагивают только некоторые стороны исследуемого объекта.

По признаку «характер процессов, происходящие внутри моделируемого объекта» модели делятся на детерминированные и стохастические, статические и динамические, дискретные, непрерывные и дискретно-непрерывные. Детерминированные модели характеризуют процессы, в которых отсутствует момент неопределенности, случайных воздействий. Стохастические модели используются для моделирования случайных процессов. Статические модели описывают состояние объекта в определенный момент времени, динамические модели отображают изменение состояния объекта во времени.

Дискретные модели создаются для описания поведения объекта в системе его отдельных состояний. Непрерывные модели используются в системах с непрерывными процессами. Дискретно-непрерывные модели создаются при необходимости анализа двух типов процесса.

По способу реализации модели выделяют два класса: предметные и абстрактные. К классу предметных моделей относятся те из них, которые можно осязать при помощи органов чувств и измерительных приборов. Такие модели имеют материальное воплощение реального объекта. Среди предметных моделей выделяют натурные (физические) (макеты образцы, копии) и аналоговые. Аналоговые модели используются для исследования явлений, имеющих природное происхождение, например, колебательные процессы.

Абстрактные модели строятся на основе их мысленных представлений и делятся на интуитивные и информационные. На начальных этапах моделирования мы имеем дело с интуитивной моделью, которая возникает при мысленном исследовании объекта-оригинала и является начальной стадией моделирования до ее перехода в материальную или информационную модель. Информационные модели представляют собой словесное описание объекта посредством текстов, формул, чертежей, таблиц, схем, рисунков и т.д.

Несмотря на многообразие существующих вокруг нас систем, большинство из них относятся к сложным системам. Проблема управления сложной системой напрямую связана с непредсказуемостью внешних воздействий, которые оказывают влияние на структуру системы и ее функционирование. При этом описание такой системы посредством аналитических математических моделей в данной ситуации будет довольно неточным [2].

К таким системам в первую очередь относятся социально-экономические системы, промышленные и производственные организации. Среди причин, затрудняющих моделирование сложной системы, выделяют такие, как: структурная сложность системы, связанная с большим количеством элементов, сложным характером связи между ними и т.д. затрудняет моделирование; множество факторов, оказывающих на систему внутреннее и внешнее воздействие; стохастичность: неопределенность поведения системы; неопределенность развития системы во времени; динамическая сложность из-за постоянно протекающих изменений в структуре, что затрудняет прогнозирование будущего состояния системы без использования специализированных динамических средств компьютерного моделирования; эволюция и переходные процессы, наблюдаемые в системе; формирование стратегии – целенаправленный перевод системы из текущего состояния в необходимое [17].

Таким образом, мы еще раз подчеркнули слабые стороны традиционных математических методов исследования модели, которые не подходят для моделирования сложных систем. По этой причине появился совершенно новый вид моделирования, который называется имитационным. Имитационное моделирование направлено на изучение поведения динамических процессов, которое изменяется во времени в условиях неопределенности. В имитационной модели сосредоточены три аспекта исследуемого процесса – временной, пространственный и логический, что качественно отличает ее от других моделей, в которых в большинстве случаев реализован только один из аспектов. Таким образом, имитационное моделирование помогает с большей эффективностью решать задачи, протекающие в условиях неопределенности.

Область применения имитационного моделирования достаточно обширна. Его используют для исследования поведения систем в экономической

отрасли; поиска решения задач управленческого характера; наблюдения за динамикой развития социальных и биологических систем; содействия развитию высокотехнологичных предприятий.

Среди имитационных моделей можно выделить две группы моделей: дискретно-событийные и дискретно-временные. Собственно, разделение происходит по признаку управляющего элемента. В дискретно-событийных системах – это событие, а в дискретно-временных – время.

Дискретные имитационные модели могут зависеть как от событий, так и от времени. Переменная времени t является естественной независимой переменной, выступающая в качестве аргумента всех функций ввода, состояния и вывода. Поэтому такие системы называют системами, зависящими от времени [1].

Выводы. В работе определены понятия модели и моделирования, подробно рассмотрены и описаны различные подходы к классификации моделей. В статье раскрыты основные принципы моделирования, описана последовательность шагов моделирования. В качестве метода исследования сложных систем отдельно было рассмотрено имитационное моделирование, его преимущества перед традиционными видами моделирования систем. Приведена базовая классификация имитационных моделей.

ЛИТЕРАТУРА

1. Акопов А.С. Имитационное моделирование / А.С. Акопов — М.: Издательство Юрайт, 2019. — 389 с.
2. Вьюненко Л.Ф., Михайлов М.В., Первозванская Т.Н. Имитационное моделирование / Л.Ф. Вьюненко, М.В. Михайлов, Т.Н. Первозванская; под ред. Л.Ф. Вьюненко. — М.: Издательство Юрайт, 2018. — 283 с.
3. Духанов А.В. Имитационное моделирование сложных систем: курс лекций / А.В. Духанов, О.Н. Медведева; Владимир. гос. ун-т. — Владимир: Изд-во Владим. гос. ун-та, 2010. — 115 с.
4. Byoung Kyu Choi, DongHun Kang John, Modeling and Simulation of Discrete Event Systems / Wiley & Sons, 2013. — 432 с.

УДК 519.713

ОБЗОР МЕТОДОВ АВТОМАТНОГО ПРОГРАММИРОВАНИЯ

А.И. Мартышкин¹, Д.А. Трокоз²

кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры вычислительных машин и систем, ФГБОУ ВО «Пензенский государственный технологический университет», г. Пенза, Россия, e-mail: Alexey314@yandex.ru

кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры вычислительных машин и систем, ФГБОУ ВО «Пензенский государственный технологический университет», г. Пенза, Россия, e-mail: Dmitriy.trokoz@gmail.com

Аннотация. В статье приведены теоретические сведения о теории автоматного программирования. Дается определение конечного автомата, детерминированного конечного автомата и недетерминированного конечного автомата. Проведен сравнительный анализ детерминированного конечного автомата и недетерминированного конечного автомата, на основании чего сделан вывод о параллелизме недетерминированного конечного автомата. Описываются основные способы задания и моделирования недетерминированного конечного автомата.

Ключевые слова: теория автоматов, конечный автомат, детерминированный автомат, недетерминированный автомат, параллелизм, способы задания автоматов.

OVERVIEW OF AUTOMATIC PROGRAMMING METHODS

A.I. Martyshkin¹, D.A. Trokoz²

¹Ph.D., Associate Professor, Associate Professor of the Department of Computers and Systems, FGBOU VO ‘Penza State Technological University’, Penza, Russia, e-mail: Alexey314@yandex.ru

²Ph.D., Associate Professor, Associate Professor of the Department of Computers and Systems, FGBOU VO ‘Penza State Technological University’, Penza, Russia, e-mail: Dmitriy.trokoz@gmail.com

Abstract. The article provides theoretical information about the theory of automatic programming. We define a finite automaton, a deterministic finite automaton, and a nondeterministic finite automaton. Comparative analysis of deterministic finite state machine and nondeterministic finite automata, based on what conclusion is made about concurrency automaton. The main methods of defining and modeling a nondeterministic finite state machine are described.

Keywords: automata theory, finite automata, deterministic automata, nondeterministic automata, parallelism, methods for specifying automata.

Введение. Термин «автомат» имеет греческое происхождение. Автомат – абстрактное понятие, описывающееся как некое вычислительное

устройство, или машина, автоматически выполняющая заданную последовательность операций. Автомат с конечным числом состояний называется конечным автоматом. В зарубежной литературе встречаются два термина для обозначения конечного автомата: Finite Automaton и Finite State Machine [1].

Цель работы. В статье приведены сведения о теории автоматного программирования. Цель работы состоит в проведении сравнительного анализа детерминированного конечного автомата (ДКА) и недетерминированного конечного автомата (НКА).

Материал и результаты исследований. Формальное определение конечного автомата. Для формального описания автомата пользуются так называемой пятеркой $(Q, \Sigma, \delta, q_0, F)$ компонентов, где первые три компонента – Q, Σ, F – множества [2]. Q содержит множество состояний автомата. Σ содержит множество входных символов, или алфавит автомата. F представляет собой множество принимающих состояний автомата. Если каждое из этих множеств конечно, такой автомат – конечный [3]. Следующие два компонента – δ и q_0 . Символом δ обозначают функцию переходов, а q_0 – начальное состояние автомата, причем $q_0 \in Q$ [4].

Недетерминированный конечный автомат. В зарубежных источниках упоминается Non-deterministic Finite Machine (NFM) или Non-deterministic Finite Automaton (NFA) [5]. Во многом определение НКА схоже с формулировкой ДКА. Для сравнения сопоставим ДКА и НКА в таблице 1.

Таблица 1 – Сопоставление ДКА и НКА

	ДКА	НКА
Множество состояний	Q	Q
Алфавит (множество символов)	Σ	Σ
Начальное состояние	$q_0, (q_0 \in Q)$	$q_0, (q_0 \in Q)$
Множество принимающих состояний	$F, (F \subseteq Q)$	$F, (F \subseteq Q)$
Функция переходов	$\delta: Q \times \Sigma \rightarrow Q$	$\delta: Q \times \Sigma \rightarrow 2^Q$

Формальное определение ДКА [6]:

Q – конечное множество всех состояний автомата.

Σ – конечное множество символов (алфавит).

δ – функция перехода, где $\delta: Q \times \Sigma \rightarrow Q$.

q_0 – начальное состояние автомата ($q_0 \in Q$).

F – множество конечных состояний, причем $F \subseteq Q$.

Формальное определение НКА:

Q – конечное множество всех состояний автомата.

Σ – конечное множество символов (алфавит).

δ – функция перехода, где $\delta: Q \times \Sigma \rightarrow 2Q$.

q_0 – начальное состояние автомата ($q_0 \in Q$).

F – множество конечных состояний, причем $F \subseteq Q$.

Из таблицы понятно, что оба автомата имеют аналогичное описание, за исключением функции переходов [7]. Согласно определению ДКА, функция переходов ДКА ставит в соответствие паре $\{qi, sj\}$ только одно состояния, тогда как в НКА это условие нарушается и паре $\{qi, sj\}$ может соответствовать множество состояний либо оно будет пустым.

Отличительной особенностью НКА является то, что переход из одного состояния в другое определен не однозначно. Это значит, что при возникновении ситуации альтернативных переходов, автомат совершил переход одновременно в несколько состояний при заданных условиях. В этом и заключается способность автомата к параллельной обработке процессов [8].

Таким образом, НКА – обобщение ДКА, т.к. может находиться сразу в нескольких состояниях одновременно [9]. Анализируя вышесказанное, приведем итоговую сравнительную таблицу 2 [10].

Таблица 2 – Сравнение ДКА и НКА

ДКА	НКА
Если из одного состояния по каждому входному символу возможен только один переход в следующее состояние, такой автомат называется детерминированным	Если из одного состояния возможно сделать несколько переходов, то такой автомат называется недетерминированным
ДКА не допускает пустых переходов	НКА допускает пустые переходы
Есть поиск с возвратом	Нет поиска с возвратом
Занимает больше памяти	Занимает меньше памяти
Если ДКА после чтения входной цепочки оказался в допускающем состоянии, то он принимает ее, иначе – нет	Если НКА после чтения входной цепочки из всего множества состояний оказался хотя бы в одном допускающем, то он принимает ее

Моделирование НКА. НКА – простейшая модель дискретно-событийной модели. Чтобы представить НКА в виде модели необходимо задать его начальное и конечное состояние, определить основные события и условия для перехода из одного состояния в другое. Моделирование НКА, как правило, происходит двумя способами: с помощью таблицы переходов; с помощью диаграммы/графа переходов [11].

Для примера построим модели НКА, основываясь на этих методах.

Представим некоторую последовательность символов входной цепочки, которую должен прочитать НКА. В качестве такой последовательности возьмем цепочку символов {a, a, c, b, c, b, c}, которая, согласно определению НКА, является алфавитом Σ . На рисунке 1 изображена последовательность символов в виде входной цепочки [12].

a	a	c	b	c	b	c
---	---	---	---	---	---	---

Рисунок 1 – входная цепочка

Начальное состояние НКА $q_0 = a$, конечное состояние $F = c$. Опираясь на эти данные, получаем изображение НКА в виде графа (рисунок 2).

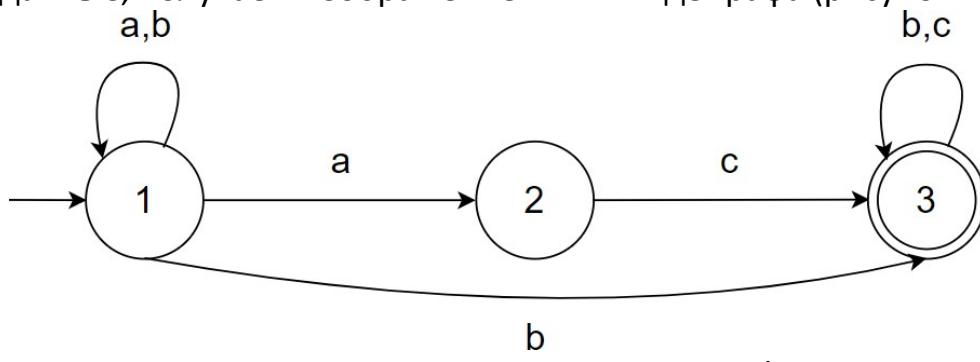


Рисунок 2 – модель НКА в виде графа

В соответствии с правилами моделирования графов кружками отмечены состояния автомата, принимающее состояние отмечено двойным кружком. Каждое состояние пронумеровано внутри кружка. Данная модель НКА имеет три состояния. Дуги, изображенные в виде стрелок, отображают переходы между состояниями, а также циклические переходы, т.е. переход в то же самое состояние. Циклических переходов на рисунке два. Входящая слева стрелка указывает начальное состояние автомата. Каждая дуга-переход сверху имеет обозначение символа, по которому совершается переход из одного состояния в другое.

Таблица переходов – метод, основанный на функции переходов $\delta = \{q_i, s_j\}$, где – q_i состояние, s_j – входной символ. Следовательно, каждое состояние данного автомата НКА можно описать следующим образом:

$$\begin{array}{lll} \delta(1, a) = \{1, 2\} & \delta(1, b) = \{1, 3\} & \delta(1, c) = \emptyset \\ \delta(2, a) = \emptyset & \delta(2, b) = \emptyset & \delta(2, c) = \{3\} \\ \delta(3, a) = \emptyset & \delta(3, b) = \{3\} & \delta(3, c) = \{3\} \end{array}$$

Преобразуем в таблицу переходов (таблица 3).

Таблица 3 – Таблица переходов НКА

s_j	a	b	c
-------	---	---	---

<i>qi</i>			
1	1,2	1,3	-
2	-	-	3
3	-	3	3

Выводы. В статье рассмотрены основные понятия теории конечных автоматов. Определение недетерминированного конечного автомата вывелоилось через детерминированный конечный автомат с уточнением их различия в трактовке функции переходов. Также приводится описания двух способов моделирования конечных автоматов и их модели.

Статья публикуется при поддержке гранта РФФИ «Конкурс на лучшие проекты фундаментальных научных исследований» (Грант № 19-07-00516 А).

ЛИТЕРАТУРА

1. Byoung Kyu Choi, DongHun Kang John, Modeling and Simulation of Discrete Event Systems // Wiley & Sons, 2013. – 432 с.
2. Бикташев Р.А., Вашкевич Н.П. Модели событийных недетерминированных автоматов для формального представления основных свойств систем управления параллельными процессами и ресурсами // Инфокоммуникационные технологии. – 2013. – Т. 11. – № 3. – С. 95-98.
3. Вашкевич Н.П., Бикташев Р.А. Недетерминированные автоматы и их использование для реализации систем параллельной обработки информации: Монография – Пенза: Ид-Во ПГУ, 2016, – 394 С.
4. Вашкевич Н.П., Бикташев Р.А. Достоинство формального языка, основанного на концепции недетерминизма, при структурной реализации параллельных Систем логического управления процессами и ресурсами // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки. –2011. – № 1. – С. 3-11.
5. Вашкевич Н.П., Бикташев Р.А., Пащенко Д.В., Кутузов В.В., Сауанова К.Т. Использование моделей событийных недетерминированных автоматов для формального описания параллельных алгоритмов логического управления // Вестник Нан РК, 2015, № 4, С. 48-63.
6. Волчихин В.И., Вашкевич Н.П., Бикташев Р.А. Модели событийных недетерминированных автоматов представления алгоритмов управления взаимодействующими процессами в многопроцессорных вычислительных системах на основе использования механизма монитора // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки. – 2013. –№ 2 (26). – С. 5-14
7. Дубинин В.Н., Будаговский Д.А., Дроздов Д.Н., Артамонов Д.В. Проектирование и реализация систем управления дискретными событийными системами на основе иерархических модульных недетерминированных автоматов (Ч. 2. Методы и средства) Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки. – 2016. – № 2 (38). – С. 18-32.

8. Дубинин В.Н., Дроздов Д.Н. Проектирование и реализация систем управления дискретными событийными системами на основе иерархических модульных недетерминированных автоматов (Ч. 1. Формальная модель). Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки. – 2016. – № 1 (37). – С. 28-39.
9. Моделирование распределенных многокомпонентных программных систем и их тестирование на основе автоматных вероятностных моделей /С.М. Старолетов. – Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2011. – 107 с.
10. Мартин Фаулер Предметно-ориентированные языки программирования: Пер. с англ. – М.: ООО «И.Д. Вильямс», 2011. – 576 с.
11. Н.П.Вашкевич Недетерминированные автоматы в проектировании систем параллельной обработки [Текст]/Н.П.Вашкевич: учебное пособие. – Пенза: Изд-во Пенз.гос.ун-та, 2004. – 280 с.
12. Мозговой М.В. Классика программирования: алгоритмы, языки, автоматы, компиляторы. Практический подход. – СПб.: Наука и Техника, 2006. – 320 с.

УДК 004.451

АНАЛИЗ НАИБОЛЕЕ ПЕРСПЕКТИВНЫХ АЛГОРИТМОВ ПЛАНИРОВАНИЯ ОПЕРАЦИОННЫХ СИСТЕМ РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ

А.И. Мартышкин

кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры вычислительных машин и систем, ФГБОУ ВО «Пензенский государственный технологический университет», г. Пенза, Россия, e-mail: Alexey314@yandex.ru

Аннотация. В статье рассмотрены основные принципы работы алгоритмов планирования операционных систем реального времени. Выявлено, что задачи в операционных системах реального времени делятся на периодические и апериодические и для их планирования используются статические и динамические алгоритмы планирования.

Ключевые слова: операционная система, алгоритмы планирования, планировщик, приоритет, эффективность, производительность, система реального времени.

ANALYSIS OF THE MOST PROMISING ALGORITHMS FOR PLANNING REAL-TIME OPERATING SYSTEMS

A.I. Martyshkin

Ph.D., Associate Professor, Associate Professor of the Department of Computers and Systems, FGBOU VO ‘Penza State Technological University’, Penza, Russia, e-mail: Alexey314@yandex.ru

Abstract. The article describes the basic principles of real-time operating system planning algorithms. It is revealed that tasks in real-time operating systems are divided into periodic and aperiodic, and static and dynamic scheduling algorithms are used for their planning.

Keywords: operating system, scheduling algorithms, scheduler, priority, efficiency, performance, real-time system.

Введение. Алгоритм планирования представляет собой неотъемлемую часть любой операционной системы, во многом определяющую эффективность использования аппаратных ресурсов встраиваемой вычислительной системы. Однако, для разных классов систем критерии эффективности организации вычислений различны. Специфика систем реального времени определяется требованием своевременного выполнения прикладных задач. Исследование алгоритмов планирования является актуальной темой, поскольку алгоритм планирования – это часть программного обеспечения, используемого в системах реального времени.

Цель работы. Цель работы – провести анализ и сравнение наиболее известных алгоритмов планирования операционных систем реального времени.

Материал и результаты исследований. В настоящее время для решения задач эффективного планирования в операционных системах реального времени существует два основных подхода: статические алгоритмы планирования; динамические алгоритмы планирования. Основной отличительной чертой приведенных выше подходов является время определения приоритетов задач, находящихся в системе. В статических алгоритмах приоритет определяется до запуска планировщика, а в динамических порядок выполнения задач определяются в ходе работы системы [1]. В статье представлен анализ существующих алгоритмов планирования операционных систем реального времени, рассмотрен принцип работы, а также достоинства и недостатки того или иного алгоритма планирования.

Алгоритмы для планирования периодических задач. Статический алгоритм планирования. Rate Monotonic (RM). В статических алгоритмах планирования приоритеты задач определяются на этапе их создания, т.е. перед запуском планировщика системы и на протяжении всей работы системы не меняются. Планировщик принимает решение об установке определенного приоритета задаче на основе введенных пользователем различных временных характеристик, таких как: период исполнения, время исполнения и другие. Суть алгоритма RM заключается в присвоении статических приоритетов задачам на основе их периодов. Приоритеты задачам назначаются следующим образом – задача с наименьшим приоритетом получает самый высокий приоритет[4]. Алгоритм RM может быть использован, только при условии, что все задачи в системе отвечают следующим требованиям.

- 1 все задачи независимы между собой;
- 2 каждая задача должна быть завершена в течение своего периода;
- 3 каждая задача может быть приостановлена более высокоприоритетной задачей;

4 время выполнения каждой задачи постоянно;

5 прерывание процесса происходит мгновенно [2].

Данный алгоритм является стабильным, т.к. при перегрузке процессора высокоприоритетные задачи продолжают исполняться вовремя. Ключевым параметром для алгоритмов планирования является загрузка (1), являющаяся суммой отношений времени выполнения задач к периоду задач.

$$U = \sum_{i=0}^n \frac{c_i}{p_i} \quad (1)$$

Для проверки на возможность планирования с помощью алгоритма RM определенного набора задач, необходимо выполнение неравенства (2).

$$\sum_{i=0}^n \frac{c_i}{p_i} \leq n * (2^{\frac{1}{n}} - 1) \quad (2)$$

n – количество задач в системе;

c_i – время выполнения задачи;

p_i – период выполнения задачи.

Для алгоритма RM при количестве задач, стремящемся к бесконечности, максимальная загрузка процессора равна 69%. При использовании процессора меньше чем на 69%, алгоритм RM гарантирует успешное выполнение задач в системе, если же уровень использования процессора превышает 69%, то набор задач может быть спланирован, но выполнение всех задач не гарантировано [3].

На рисунке 1 представлен пример работы системы, где присутствует три периодических задачи со следующими временными характеристиками и значением загрузки, находящейся в левой части неравенства.

$$0,68 \leq 3 * (2^{\frac{1}{3}} - 1)$$

$$0,68 \leq 0,77$$

Таблица 1 – Временные характеристики задач системы

Задача	Время выполнения	Период
1	10	30
2	10	40
3	5	50

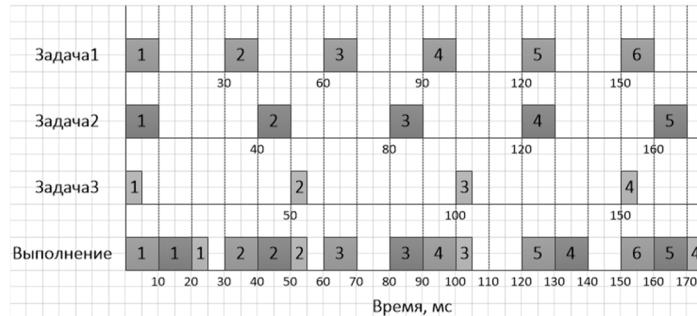


Рисунок 1 – Пример работы алгоритма RM

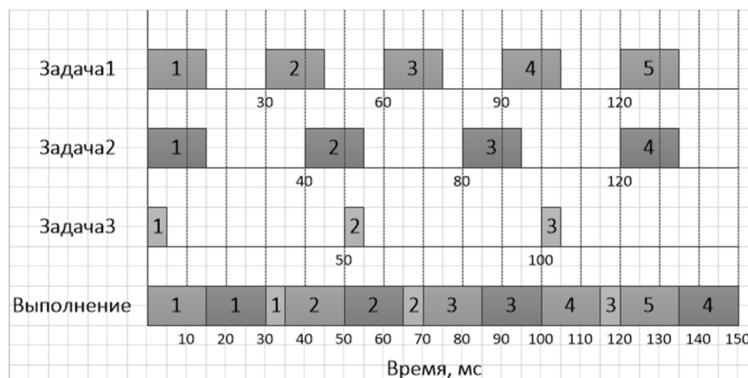
Как видно из рисунка 1 в системе имеется три задачи с различными периодами исполнения, в соответствии с которыми им назначаются приоритеты: задача 1 имеет высший приоритет, задача 2 – средний и задача 3 – самый низкий приоритет. На протяжении всего времени работы системы задача 1 вытесняет все задачи, выполняющиеся в момент её возникновения, задача 2 вытесняет только задачу 3 и во время, когда ни одна задача не выполняется, процессорное время переходит к задаче 3.

Динамические алгоритмы планирования. В динамических алгоритмах планирования приоритеты задачам назначаются во время работы системы на основе анализа текущей ситуации. Планировщик во время работы системы отдает приоритет задачам, удовлетворяющим различным условиям, в зависимости от алгоритма планирования. Динамические алгоритмы бывают двух типов: для периодических и для апериодических задач. Периодическая задача – задача, требующая обработки или активизирующаяся через определенный интервал времени, называемый периодом задачи. Апериодическая задача – задача, активизация которой происходит при наступлении определенного события или состояния в системе.

Earliest Deadline First (EDF). Суть алгоритма заключается в том, что в момент события планирования, планировщиком выбирается задача, которая имеет самый ранний крайний срок, т.е. время, оставшееся до конца периода. Основными событиями планирования операционных систем реального времени являются – готовность задачи к выполнению и приостановка выполнения задачи [4]. Формальным условием данного алгоритма является то, что максимальная загрузка процессора должна быть меньше 100%. Имеет преимущества над статическим алгоритмом при больших загрузках системы. Этот алгоритм является не стабильным, поскольку и низкоприоритетная, и высокоприоритетная задачи могут получить процессорное время при перегрузке [5]. На рисунке 2 представлен пример работы системы, в которой присутствует три периодических задачи со следующими временными характеристиками и значением загрузки = 97,5 %

Таблица 2 – Временные характеристики задач системы

Задача	Время выполнения	Период
1	15	30
2	15	40
3	5	50


Рисунок 2 – Пример работы алгоритма EDF

Least Laxity First (LLF). Данный алгоритм основан на следующем принципе – в момент наступления события планирования наивысший приоритет получает задача с наименьшим резервом времени. Резервом времени называется разность между временем до крайнего срока и оставшимся временем выполнения задачи. Как и в алгоритме EDF, формальным условием данного алгоритма является то, что максимальная загрузка процессора должна быть меньше 100%.

Также, как и алгоритм EDF, данный алгоритм является нестабильным при перегрузке процессора. На рисунке 3 представлен пример работы системы, в которой присутствует три периодических задачи со следующими временными характеристиками и значением загрузки = 91 %.

Таблица 3 – Временные характеристики задач системы

Задача	Время выполнения	Период
1	10	30
2	15	40
3	10	50

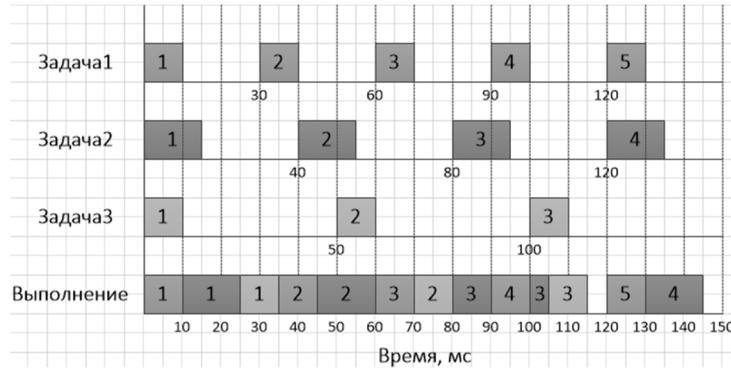


Рисунок 3 – Пример работы алгоритма LLF

Алгоритмы для планирования аperiодических задач. Background. В основе алгоритма Background лежит фоновое выполнение аperiодических задач, т.е. периодические задачи системы обслуживаются на основе любого просто алгоритма, например, RM, а в оставшихся окнах процессорное время выделяется для аperiодических задач, которые готовы к выполнению в данный момент времени. Аperiодические задачи обслуживаются, когда все периодические задачи приостановлены. В случае, если аperiодическая задача не успела завершить свое выполнение, т.е. её вытеснили, то она возвращается в конец списка готовых аperiодических задач.

Основным недостатком данного алгоритма является то, что он не позволяет работать с аperiодическими задачами реального времени.

На рисунке 4 представлен пример работы системы, в которой присутствует две периодических задачи и два аperiодических события, возникающих в определенные временные интервалы, со следующими временными характеристиками и значением загрузки периодических задач, находящейся в левой части неравенства.

$$0,75 \leq 2 * \left(2^{\frac{1}{2}} - 1 \right)$$

$$0,75 \leq 0,83$$

Таблица 4 – Временные характеристики периодических задач системы

Задача	Время выполнения	Период
1	10	20
2	10	40

Таблица 5 – Временные характеристики аperiодических событий системы

Событие	Время выполнения	Время возникновения
1	10	40
2	10	50

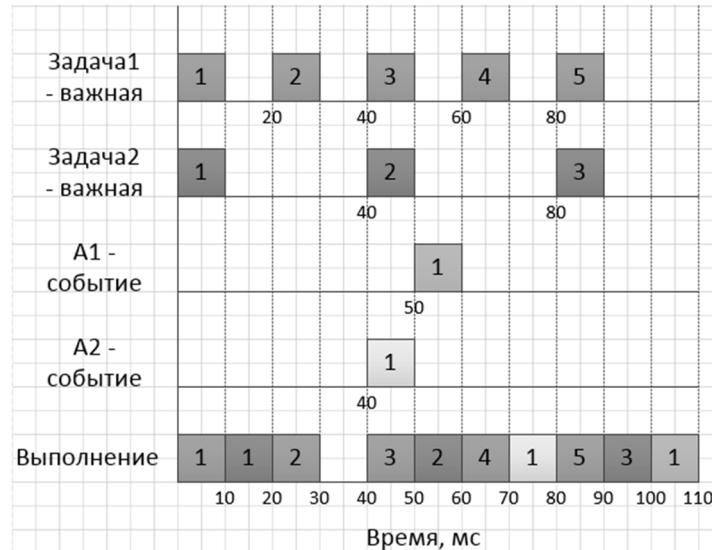


Рисунок 4 – Пример работы алгоритма Background

Deferrable Server. Алгоритм Deferrable Server (сервер, допускающий задержку) основан на алгоритме RM. В системе создается периодическая задача сервер, которая предназначается для обслуживания апериодических запросов и имеет такой параметр как бюджет. По количеству бюджета планировщик определяет, будет ли обрабатываться в данном периоде сервера апериодический запрос. Если значение бюджета равно нулю, то управление получают готовые периодические задачи до момента обновления бюджета сервера, т.е. до начала следующего периода сервера [6].

На следующем рисунке представлен пример работы системы, в которой присутствует две периодические задачи, периодический сервер с бюджетом равным 5 и апериодическое событие, со следующими временными характеристиками и значением загрузки периодических задач, находящейся в левой части неравенства:

$$0,741 \leq 3 * \left(2^{\frac{1}{3}} - 1\right)$$

$$0,741 \leq 0,77$$

Таблица 6 – Временные характеристики периодических задач системы

Задача	Время выполнения / Бюджет	Период
1	10	20
2	15	40
сервер	5	30

Таблица 7 – Временные характеристики апериодических событий системы

Событие	Время выполнения	Время возникновения
1	10	40

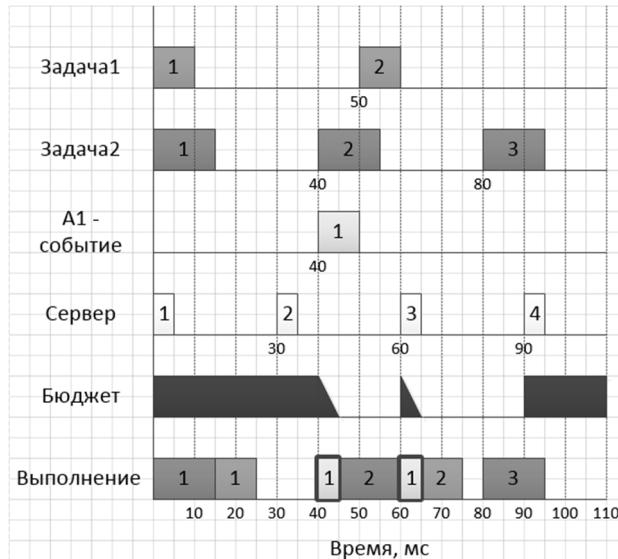


Рисунок 5 – Пример работы алгоритма Deferrable Server

Sporadic Server. Алгоритм Sporadic Server (спорадический сервер) по принципу аналогичен алгоритму сервера, допускающего задержку (deferrable server). Для обслуживания апериодических событий создается специальная периодическая задача(сервер), имеющая максимальный приоритет. Аналогично алгоритму deferrable server, в алгоритме sporadic server у сервера имеется свой бюджет, по истечении которого управление передается следующей задаче из списка готовых к выполнению. Единственное отличие алгоритма sporadic server от deferrable server состоит в том, что бюджет времени пополняется не в каждый период сервера, а через “период пополнения”, т.е. через определенное количество времени, после начала очередного периода сервера [6].

На рисунке 6 представлен пример работы системы, в которой присутствует две периодические задачи, периодический сервер с бюджетом равным 5, “периодом пополнения” равным 5 и апериодическое событие, со следующими временными характеристиками и значением загрузки периодических задач, находящейся в левой части неравенства:

$$0,741 \leq 3 * \left(2^{\frac{1}{3}} - 1 \right)$$

$$0,741 \leq 0,77$$

Таблица 8 – Временные характеристики периодических задач системы

Задача	Время выполнения / Бюджет + “Период пополнения”	Период
1	10	20
2	15	40
сервер	5 + 5	30

Таблица 9 – Временные характеристики апериодических событий системы

Событие	Время выполнения	Время возникновения
1	10	40

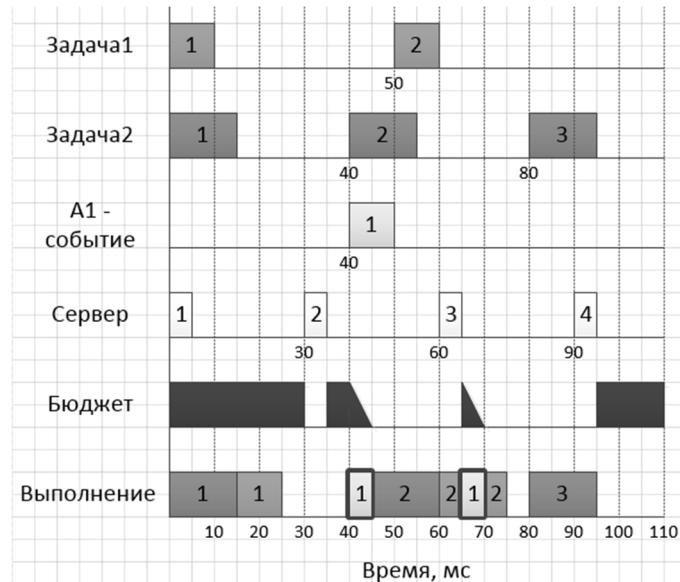


Рисунок 6 – Пример работы алгоритма планирования Sporadic Server

Выводы. В результате проведения обзора разобраны основные принципы работы алгоритмов планирования операционных систем реального времени. Также было выявлено, что задачи в операционных системах реального времени делятся на периодические и апериодические и для их планирования используются статические и динамические алгоритмы планирования.

В статических алгоритмах приоритет определяется до запуска планировщика, а в динамических порядок выполнения задач определяются в ходе работы системы. В связи с этим при реализации представленных в первой главе алгоритмов необходимо предусмотреть ввод и обработку различных временных параметров задач, таких как период, время выполнения. Для алгоритмов, имеющих периодический сервер, необходимо обеспечить ввод параметров – тип задачи (апериодическая, периодическая), период сервера, бюджет сервера, период пополнения.

Работа выполнена при финансовой поддержке стипендии Президента РФ молодым ученым и аспирантам на 2018-2020 гг. (СП-68.2018.5).

ЛИТЕРАТУРА

1. Бурдонов, И. Б. Операционные системы реального времени / И.Б. Бурдонов, А. С. Косачев, В.Н. Пономаренко // Препринт Института системного программирования РАН. – 2006. – №14. – С. 3.
2. Audsley, N. C. Applying new scheduling theory to static priority preemptive scheduling / N.C. Audsley, A. Burns, M. Richardson, K. Tindell, A. Wellings // Software Engineering Journal. – 2002. – Vol. 8. – № 5. – P. 1.
3. Bini, E. The space of rate monotonic schedulability / E. Bini, G.C. Buttazzo // IEEE Real-Time Systems Symposium. – 2002. - №23. – P. 1.
4. Таненбаум, Э. Современные операционные системы / Э. Таненбаум. 4-е изд. – Санкт-Петербург: Питер, 2015. – С. 602.
5. Mok A. Multiprocessor scheduling in a hard real-time environment / A. Mok, M. Dertouzos // Texas Conference on Computing Systems. – 1978. – №7. – P. 3.
6. Buttazzo G.C. Hard Real-Time Computing Systems: Predictable Scheduling Algorithms and Applications (Real-Time Systems Series) / G.C. Buttazzo. – 3rd ed. – London: Springer, 2011. – P. 143.

УДК 37.033:504.06

ОСОБЛИВОСТІ ВИКЛАДАННЯ ІНЖЕНЕРНОЇ ТА КОМП'ЮТЕРНОЇ ГРАФІКИ ДЛЯ ЗДОБУВАЧІВ ОСВІТИ ПРИРОДООХОРОННОГО ПРОФІЛЮ У НТУ «ДНІПРОВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»

А.В. Павличенко¹, І.М. Мацюк²

¹доктор технічних наук, завідувач кафедри екології та технологій захисту навколишнього середовища, Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», м. Дніпро, Україна, e-mail: pavlichenko.a.v@nmu.one

²кандидат технічних наук, доцент кафедри конструювання, технічної естетики і дизайну, Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», м Дніпро, Україна, e-mail: matsyukin@ua.fm

Анотація. В статті проаналізовано особливості викладання дисциплін «Інженерна графіка» та «Прикладна комп'ютерна графіка» здобувачам вищої освіти за спеціальністю 183 «Технології захисту навколишнього середовища». Очікувані результати навчання за цими дисциплінами забезпечують формування навичок та вмінь використання комп'ютерної техніки та сучасного програмного забезпечення під час розроблення нових та удосконалення існуючих технологій захисту навколишнього середовища.

Ключові слова: природоохоронна освіта, технології захисту навколишнього середовища, інженерна графіка, прикладна комп'ютерна графіка, системи автоматизованого проектування, природоохоронне обладнання.

PECULIARITIES OF TEACHING ENGINEERING AND COMPUTER GRAPHICS TO STUDENTS IN ENVIRONMENTAL EDUCATION PROFILE IN DNIPRO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

Artem Pavlychenko¹, Iryna Matsyuk²

¹Ph.D., Head of the Department of Ecology and Technologies of Environmental Protection, Dnipro University of Technology, Dnipro, Ukraine, e-mail: pavlichenko.a.v@nmu.one

²Ph.D., Associate Professor of the Department of Engineering and Generative Design, Dnipro University of Technology, Dnipro, Ukraine, e-mail: matsyukin@ua.fm

Abstract. The article analyzes the peculiarities of teaching subjects of "Engineering Graphics" and "Applied Computer Graphics" to higher education seekers in specialty 183 "Environmental Technologies". Expected learning outcomes for these disciplines provide the skills and knowledge of applying computer technology and modern software when developing new technologies for environmental protection and improving existing ones.

Keywords: environmental education, environmental protection technologies, engineering graphics, applied computer graphics, computer aided design systems, environmental protection equipment.

Вступ. Відповідно до стандарту вищої освіти України, першого (бакалаврського) рівня, галузі знань 18 – Виробництво та технології, спеціальності 183 – Технології захисту навколишнього середовища [1], головною ціллю навчання здобувачів вищої освіти є формування у них загальних та професійних компетентностей, необхідних для вирішення природоохоронних завдань. Для досягнення цієї цілі фахівець повинен розуміти сутність та параметри технологічних процесів, принципи розроблення нових та удосконалення існуючих технологій захисту навколишнього середовища. Використання комп’ютерної техніки та сучасного програмного забезпечення значно полегшує проектування систем та технологій захисту навколишнього середовища і тому потребує формування у майбутніх фахівців відповідних умінь та навичок. Саме для забезпечення цих результатів навчання в освітньо-професійній програмі «Технології захисту навколишнього середовища» [2] передбачено вивчення дисциплін «Інженерна графіка» та «Прикладна комп’ютерна графіка».

В умовах постійного розвитку професійного інформаційного простору з'явилася можливість використання комп’ютерних програм і технологій для розв'язування складних спеціалізованих задач та вирішення практичних проблем технічного і технологічного характеру у сфері екології, охорони довкілля та збалансованого природокористування. З метою підготовки майбутніх фахівців в природоохоронній сфері виникає необхідність поліпшення якості освітнього процесу за допомогою сучасних методів навчання, які забезпечуються відповідними компетенціями. Для цього, в освітній процес

підготовки включені дисципліни «Інженерна графіка» та «Прикладна комп'ютерна графіка», які викладаються кафедрою конструювання, технічної естетики і дизайну. Вивчення цих дисциплін сприяє професійно-орієнтованому навчанню. Як відомо, на сьогоднішній день основним завданням вищої освіти є формування конкурентоспроможного фахівця, а випускник, який вільно володіє відповідними компетенціями, буде затребуваний в сфері захисту навколишнього середовища.

Мета роботи є обґрунтування доцільності викладання інженерної та комп'ютерної графіки для підвищення якості підготовки здобувачів освіти за спеціальністю «Технології захисту навколишнього середовища».

Матеріал і результати роботи. Навчальним планом освітньо-професійної програми «Технології захисту навколишнього середовища» першого (бакалаврського) рівня вищої освіти зі спеціальності 183 «Технології захисту навколишнього середовища» передбачено вивчення студентами в першому семестрі дисципліни «Інженерна графіка» загальним обсягом 90 год. (3 кредити ЕКТС), і в другому семестрі – «Прикладна комп'ютерна графіка» загальним обсягом 90 год. (3 кредити ЕКТС). Дисципліни включають лекційні заняття, комп'ютерний практикум, виконання графічної роботи та самостійні заняття.

Вивчення дисциплін «Інженерна графіка» та «Прикладна комп'ютерна графіка» забезпечує реалізацію програмного результату ПР01: знати сучасні теорії, підходи, принципи екологічної політики, фундаментальні положення з біології, хімії, фізики, математики, біотехнології та фахових і прикладних інженерно-технологічних дисциплін для моделювання та вирішення конкретних природозахисних задач у виробничій сфері, передбачуваного стандартом [1].

Метою дисципліни «Інженерна графіка» [3] є формування компетентностей щодо засобів зображення просторових форм на площині з використанням графічних зображень та комп'ютерних технологій, що є основою виконання технічного креслення. Це є необхідним для майбутніх фахівців із захисту навколишнього середовища, виробничі функції яких пов'язані зі складанням конструкторської документації, яка повинна відповідати потребам природоохоронної діяльності.

Очікувані дисциплінарні результати навчання за цією дисципліною наступні:

- розробляти технічну документацію, яка базується на вмінні виконувати ескізи і кресленики деталей, читати та деталювати складальні креслення;

- вміти використовувати технічну документацію для розв'язання задач із захисту навколишнього середовища з відображенням геометричних об'єктів на площині;

- вміти користуватися засобами сучасних інформаційних технологій для розробки документації природоохоронного профілю.

Для досягнення цих результатів передбачено опанування теоретичних основ креслення, правил оформлення креслеників, проекціювання прямої та взаємного положення точки та прямої, двох прямих; проекційного креслення; видів, розрізів, перерізів; проекціювання площини, способів зведення площини на комплексному кресленику; взаємного положення точки та площини, прямої та площини, двох площин; умовного позначення та зображення різі; правила виконання ескізів та робочих креслень, складального креслення тощо.

Важливим є достатній обсяг лабораторних занять для закріплення навичок з роботи в програмі AutoCAD, застосування команд графічних примітивів і редактування, виконання спряжень геометричних об'єктів; виконання креслень трьох виглядів деталі за двома заданими, а також виконання самостійного завдання з креслення компонентів природоохоронного обладнання.

Логічним продовженням є вивчення дисципліни «Прикладна комп'ютерна графіка» [4], метою якої є формування навичок використання методів і прийомів візуального моделювання природоохоронного обладнання, використовуючи сучасні системи автоматичного проектування для вирішення завдань з захисту навколишнього середовища.

Очікувані дисциплінарні результати навчання за цією дисципліною:

- застосовувати засоби комп'ютерної графіки, сучасні графічні системи, методи і прийоми моделювання при вирішенні природоохоронних задач;

- виконувати геометричні побудови, креслення конструкцій і виробів, складальні креслення тощо;

- оформляти конструкторську, технологічну та іншу технічну документацію відповідно до нормативної бази;

- створювати, редагувати і оформлювати креслення та 3D моделі з використанням комп'ютерних систем автоматизованого проектування (САПР);

- будувати 3D моделі природоохоронного обладнання та устаткування.

Для досягнення цих результатів передбачено опанування теоретичних основ комп'ютерної графіки; основних відомостей про растрову, векторну, тривимірну, фрактальну графіку, форми подання графічних даних, види

графічних пакетів, принципи їх роботи і можливості; сучасні системи автоматичного проектування; основні функціональні можливості сучасних графічних систем (САПР: Компас, Autodesk AutoCAD, Autodesk Inventor, Autodesk Fusion 360, SolidWorks, 3DS Max); хмарні засоби інженерної та комп'ютерної графіки; методи і прийоми моделювання в рамках графічних САПР; основні методи і прийоми 3D моделювання, редагування моделі, простановка розмірів і позначень на тривимірній моделі, асоціативний кресленик; планування побудови тривимірної моделі, параметричного моделювання; основ рендерингу, художньо-естетичної обробки 3D моделей та отримання фотoreалістичного зображення виробу.

Достатній обсяг лабораторних занять дозволяє сформувати навички зі створення, редагування і оформлення 2D кресленника; побудови 3D моделі деталі; створення асоціативного кресленника в автоматичному режимі з 3D моделі складної деталі; побудови 3D моделі природоохоронного обладнання; отримання фотoreалістичного зображення виробу а також подальшої візуалізації відповідного природоохоронного обладнання.

Ознайомлення здобувачів вищої освіти з основними методами і прийомами візуального моделювання сучасного природоохоронного обладнання, використовуючи сучасні системи автоматичного проектування дозволяє оперативно вирішувати завдання з захисту навколишнього середовища. Також у здобувачів освіти розвивається просторове уявлення і конструктивно-геометричне мислення, здібності до аналізу та синтезу просторових форм на основі графічних моделей із захисту навколишнього середовища, практично реалізованих у вигляді креслень технічних об'єктів, а також формування знань, умінь і навичок, необхідних для виконання креслень різного призначення природоохоронного обладнання, складання конструкторської та технічної документації із застосуванням програмних і технічних засобів комп'ютерної графіки.

Серед відомих систем автоматизованого проектування, найбільшого поширення набули такі програмні продукти, як Аскон із програмою Компас та Autodesk з програмами AutoCAD, Inventor, Fusion 360 [5]. На кафедрі конструктування, технічної естетики і дизайну є можливість працювати з будь-яким з цих програмних продуктів. Здобувачі мають можливість ознайомитися з перевагами кожної з цих програм, і самостійно оцінити особливості роботи в кожній з них і надалі вибрати для своєї професійної діяльності програмний продукт, який найкращим способом допоможе вирішувати поставлені завдання.

З появою сучасних програмних продуктів змінився і підхід до проектування виробів. Традиційно інженер працював у двовимірному просторі і

змушений був втілювати свої ідеї в пласких кресленнях, зараз у нього з'явилася можливість використовувати тривимірний простір. Таким засобом конструювання виробів йде не від креслення до тривимірної моделі виробу, а навпаки – від просторової моделі до автоматично згенерованих креслень.

Таким чином, слід особливу увагу приділити питанню навчання здобувачів тривимірному моделюванню, так як тривимірна модель стає головним носієм інформації про геометрію виробу. Перехід на проектування з використанням 3D моделювання дозволяє якісно поліпшити рівень підготовки фахівця та забезпечує необхідні компетентності, щодо навичок використання інформаційних і комунікаційних технологій.

Слід відмітити, що 3D технології на базі сучасної комп'ютерної техніки та програмного забезпечення активно входить в практику проектування і дозволяє за тривимірним моделям отримати робочі креслення, легко вносити зміни в проекти і скорочувати терміни проектування. За 3D технологією спочатку створюється просторова твердотільна модель об'єкту. Це може бути модель деталі будь-якого природоохоронного обладнання або будь-яке обладнання для очищення забрудненої води або повітря. Потім в автоматичному режимі отримують проекції даної моделі – види, розрізи і перетини тощо.

Користувач повинен лише визначити, які саме зображення мусить містити креслення, і застосувати відповідні команди. Найочевидніша відмінність твердотільного моделювання від двовимірного креслення – це створення точної тривимірної комп'ютерної моделі виробу. У тривимірну модель зручно вносити зміни, а креслення після цього не треба формувати заново – досить викликати команду їх поновлення.

Дисципліни «Інженерна графіка» та «Прикладна комп'ютерна графіка» мають зв'язки з дисциплінами: математика, інформатика, алгоритмізація та програмування, вступ до спеціальності. Знання, отримані здобувачами в процесі вивчення дисциплін, знадобляться при вивчені специальних дисциплін: Технології захисту водних ресурсів, Технології утилізації відходів та рециклінг, Технології захисту ґрунтів і надр, Технології захисту атмосферного повітря, Проектування природоохоронних систем та обладнання, під час курсового і проектування, виконання кваліфікаційних робіт, наукових досліджень, а також у подальшій професійній діяльності.

Висновок. В результаті вивчення дисциплін «Інженерна графіка» та «Прикладна комп'ютерна графіка» здобувачі освіти за ОПП «Технології захисту навколишнього середовища» формують наступні уміння:

- використовувати функціональні можливості сучасних графічних систем; методів і прийомів моделювання в рамках графічних систем;

- виконувати геометричні побудови, креслення конструкцій і виробів, складальні креслення;
- оформляти конструкторську, технологічну та іншу технічну документацію відповідно до нормативної бази;
- створювати, редагувати і оформляти креслення та 3D моделі з використанням комп'ютерних САПР;
- вміти користуватися засобами сучасних інформаційних технологій для розробки документації природоохоронного виробництва тощо.

Слід зазначити важливість використання інженерної та комп'ютерної графіки з позиції мотивації здобувачів. Вони із задоволенням виконують вправи і вирішують завдання за допомогою графічних пакетів і з легкістю набувають навичок роботи в цих системах.

Отримані знання та набуті практичні навички роботи з САПР дають можливість здобувачам на достатньо високому рівні виконувати графічні роботи з різних навчальних дисциплін, курсових та кваліфікаційних робіт, а також у подальшій професійній діяльності підвищувати їх кваліфікацію, як технічних фахівців. Опанування цих дисциплін, допомагає здобувачам природоохоронної освіти вже на першому році навчання, отримати відповідні компетентності з природоохоронної діяльності, що якісно вплине на ефективність вивчення технологічних дисциплін та покращити якість їх подальшого навчання.

ЛІТЕРАТУРА

1. Стандарт вищої освіти України: перший (бакалаврський) рівень, галузь знань 18 – Виробництво та технології, спеціальність 183 – Технології захисту навколишнього середовища. Затверджено і введено в дію наказом Міністерства освіти і науки України від 13.11.2018 № 1241

2. Освітньо-професійна програма «Технології захисту навколишнього середовища» спеціальності 183 Технології захисту навколишнього середовища за першим (бакалаврським) рівнем затверджено Вченою радою НТУ «Дніпровська політехніка» протокол №10 від 27 червня 2019 р. 29 с.

3. Савельєва Т.С., Мацюк І.М. Робоча програма навчальної дисципліни «Інженерна графіка» для бакалаврів освітньо-професійної програми «Технології захисту навколишнього середовища» спеціальності 183 «Технології захисту навколишнього середовища» / Нац. техн. ун-т. «Дніпровська політехніка», каф. основ конструювання механізмів і машин. – Д.: НТУ «ДП», 2019. – 12 с.

4. Мацюк І.М. Робоча програма навчальної дисципліни «Прикладна комп'ютерна графіка» для бакалаврів освітньо-професійної програми «Технології захисту навколишнього середовища» спеціальності 183 «Технології захисту навколишнього середовища» / Нац. техн. ун-т. «Дніпровська політехніка», каф. основ конструювання механізмів і машин – Д.: НТУ «ДП», 2019. – 12 с.

5. Саєнко С. Ю. Основи САПР: навч. посіб. / С.Ю. Саєнко, І.В. Нечипоренко. – Харків: ХДУХТ, 2017. – 120 с.

УДК 519.711.3

САМОСОГЛАСОВАННАЯ ДИНАМИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ НАМАГНИЧИВАНИЯ ВОЛНОВОДА МАГНИТОСТРИКЦИОННОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ УГЛОВЫХ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ

Ю.Н. Слесарев¹, А.Н. Саламатин²

¹ профессор кафедры "Автоматизация и управление", д.т.н., Пензенский Государственный Технологический Университет, г. Пенза, Россия, e-mail: SlesarevUN@gmail.com

² аспирант гр.19ТИ, Пензенский Государственный Технологический Университет, г. Пенза, Россия, e-mail: salamatin1994@yandex.ru

Аннотация. В данной статье рассмотрена динамическая модель намагничивания волновода магнитострикционного преобразователя угловых перемещений. Она позволяет с учетом влияния размагничивающих полей определить намагниченность волновода как на локальном участке, так и вдоль всей длины волновода магнитострикционного преобразователя угловых перемещений. Численный метод расчета, представленный в статье также можно использовать при расчете процесса намагничивания волновода магнитострикционного преобразователя линейных перемещений

Ключевые слова: модель, динамическая модель, моделирование, численный метод, волновод, магнитострикция, магнитострикционный преобразователь, преобразователь угловых перемещений, численный метод, численный метод расчета.

SELF-CONSISTENT DYNAMIC MODEL OF MAGNETOSTRICTION ANGULAR MOVEMENT WAVEGUIDE MAGNETIZATION

Yu.N. Slesarev¹, A.N. Salamatin²

¹ Ph.D., professor of department " Automation and Control", Penza State Technological University, s. Penza, Russia, e-mail: SlesarevUN@gmail.com

²postgraduate, Penza State Technological University, s. Penza, Russia, e-mail: salamatin1994@yandex.ru

Abstract. This article discusses a dynamic model of magnetization of a waveguide of a magnetostrictive angular displacement transducer. It allows, taking into account the influence of demagnetizing fields, to determine the magnetization of the waveguide both in the local area and along the entire length of the waveguide of the magnetostrictive transducer of angular displacements. The numerical calculation method presented in the article can also be used in the calculation of the magnetization of the waveguide of a magnetostrictive linear displacement transducer.

Keywords: model, dynamic model, modeling, numerical method, waveguide, magnetostriction, magnetostrictive transducer, angular displacement transducer, numerical method, numerical calculation method.

Введение. Метод самосогласованного динамического моделирования (СДМ) получил широкое распространение для моделирования записи информации на ферромагнитных носителях посредством приложения локального магнитного поля, создаваемого, например, магнитной головкой.

Некоторые общие положения данной методики могут быть применены и для моделирования намагничивания волновода в двухкоординатных магнитострикционных преобразователях угловых перемещений (ДМПУП) на ультразвуковых волнах кручения с учетом особенностей физики перемагничивания круговым полем, методик определения магнитных полей и моделей перемагничивания материала волновода.

Цель работы.

Целью работы является разработка самосогласованной динамической модели намагничивания волновода магнитострикционного преобразователя угловых перемещений

Материал и результаты исследований.

СДМ представляют собой модели и методы приближенного решения нелинейной задачи, которые для случая формирования намагниченности в волноводе имеют вид:

$$\bar{M}(\bar{r}, t) = \bar{m}_{tf}(\bar{H}_\Sigma(\bar{r}, t), \text{история } \bar{H}_\Sigma) \quad (1)$$

$$\bar{H}_\Sigma(\bar{r}, t) = H_{\text{внеш}}(\bar{r}, t) + H_{\text{разм}}(\bar{r}, t),$$

где $\bar{M}(\bar{r}, t)$ – вектор намагниченности в точке с радиусом–вектором \bar{r} в момент времени t ;

$\bar{H}_\Sigma(\bar{r}, t)$ –вектор напряженности полного магнитного поля, включающий сумму внешнего поля $H_{\text{внеш}}(\bar{r}, t)$, создаваемого совместным действием постоянного магнита и циркулярного магнитного поля в отсутствие магнитного волновода, и внутреннего поля $H_{\text{разм}}(\bar{r}, t)$, существующего в магнитном материале ;

\bar{m}_{tf} – моделирующая функция, связывающая остаточную намагниченность волновода с напряженностью магнитного поля;

$\bar{H}_{\text{разм}}(\bar{r}, t)$ – размагничивающее поле, определяется из магнитостатических уравнений Максвелла;

$$\operatorname{div} \bar{H}_{\text{разм}}(\bar{r}, t) = -4 \cdot \pi \cdot \operatorname{div} \bar{M}(\bar{r}, t); \quad (2)$$

$$H_{\text{разм}}(r \rightarrow \infty) \rightarrow 0.$$

Различные СДМ отличаются выбором моделирующей функции $\bar{m}_f(\bar{H}, \text{история } \bar{H})$ и математическими методами приближенного решения уравнений (1), (2).

Следует отметить, что в традиционных моделях формирования намагниченности для описания процесса формирования распределения намагниченности использовались и различные модели образования доменов, где основой рассмотрения является минимизация термодинамического потенциала.

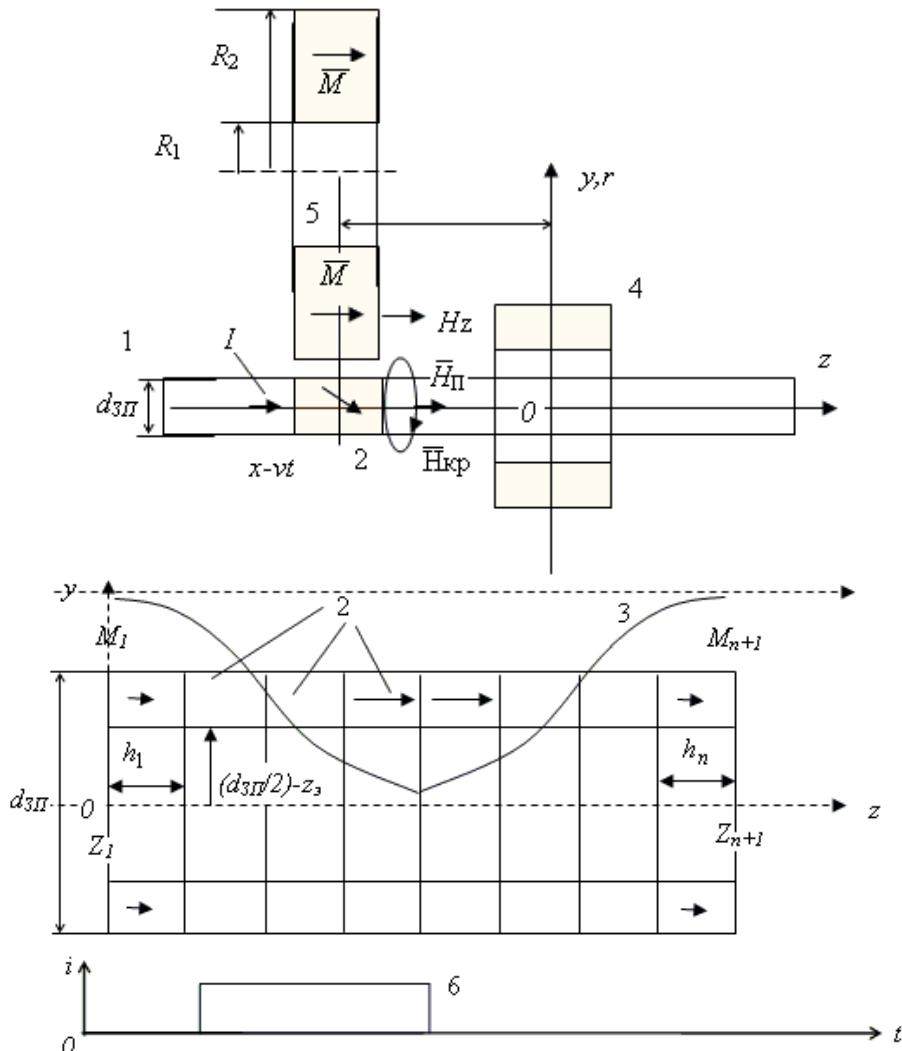


Рисунок 1 - Модель формирования намагниченности в волноводе(3П), где 1- волновод, 2 – области разбиения ЗП, 3- распределение продольной

составляющей результирующего магнитного поля, 4- катушка воспроизведения, 5- постоянный магнит (ПМ), 6- импульс тока в волноводе в зависимости от времени

Между тем известно, что в большинстве магнитных материалов, в том числе и в волноводе, собственная доменная структура может иметь размеры гораздо меньшие, чем области, перемагничиваемые под действием магнитного поля. Если это так, то эти области можно описать при помощи параметров, характерных для макрообластей, в частности, коэрцитивной силой, коэффициентом прямоугольности петли гистерезиса, которые могут быть легко измерены и отражают структурное состояние реального материала. Использование этих параметров позволяет применить к рассмотрению явлений в волноводе некоторые подходы, развитые для моделирования магнитной записи магнитной головкой

Задача расчета изменения намагниченности волновода при изменении магнитного поля решается следующим образом (Рисунок 1):

Для определения намагниченности и магнитных полей при перемагничивании волновода рассматриваемая область (позиция 2 рисунка 1) волновода разбивается на n элементов длиной h , ограниченных узловыми точками Z_i . В каждый момент времени можно задать поле температур $T_i = T(Z_i)$.

Практически самосогласованное распределение намагниченности численно вычисляется с помощью метода итерации. Обобщенная процедура итеративного расчета приведена на рисунке 2.

Для описания намагниченности в предшествующий момент времени между узлами Z_i и Z_{i+1} применяется линейная интерполяция.

Суммарное магнитное поле $H_\Sigma(Z_i, t)$ определяется в соответствии с выражением

$$H_\Sigma(Z_i, t) = H_{\text{внеш}} + \sum A_{ij} \cdot M_j(t), \quad (3)$$

где A_{ij} – матрица форм-факторов, получаемая с учетом интерполяции намагниченности в элементе из интегрального решения магнитостатических уравнений Максвелла в форме скалярного потенциала; i – положение границы точки наблюдения (рисунок 1); j – расположение границы конечного элемента с магнитным материалом.

Для расчетов суммарного магнитного поля $H_\Sigma(Z_i, t)$, описываемого выражением (3), возможно использование методов итерации, наиболее адаптированным под рассматриваемую модель из которых является метод релаксации. Данный метод решения систем алгебраических уравнений об-

ладает большой скоростью сходимости благодаря тому, что в нем после вычисления очередной i -ой компоненты $(k+1)$ -го приближения по формуле метода Зейделя производят дополнительное смещение этой компоненты.

Выбор данного метода был также осуществлен из-за возможности дополнительного введения в расчеты релаксации по индукции, что повышает устойчивость.

Согласно этому методу значение напряженности магнитного поля H определится в соответствии с выражением:

$$H^{(k)} = H^{(k-1)} + \lambda_1 \left(H^{(k-1)} + A(B^{(k-1)} - H^{(k-1)}) \right), \quad (4)$$

где λ_1 - коэффициент ускорения сходимости по напряженности магнит-

ного поля, определяющее метод решения выражения (3), $B^{(k-1)}$ - значение магнитной индукции, вычисленной для $(k-1)$ -го шага итерации.

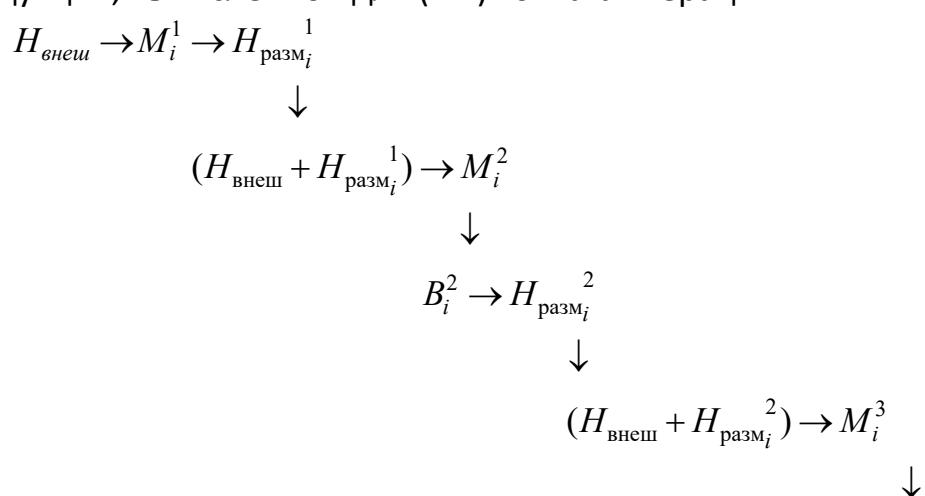


Рисунок 2 - Обобщенная процедура итеративного расчета намагниченности в волноводе

Как уже отмечалось, для повышения устойчивости, в известный метод расчета СДМ дополнительно вводится релаксация по индукции, значение которой на k -ом шаге итерации можно будет определить согласно выражению:

$$B^{-(k)} = (1 - \lambda'_1) \cdot B^{-(k-1)} + \lambda'_1 \cdot \bar{B}(H^{-(k)}), \quad (5)$$

где $H^{-(k)}$ - значение напряженности магнитного поля на k -ом шаге итерации, определяемое согласно выражению (4), λ'_1 - коэффициент ускорения сходимости по магнитной индукции.

Введение дополнительной релаксации по индукции повышает устойчивость рассматриваемого метода и является отличием предложенного численного метода от существующих.

Вывод. Таким образом, описанная методика позволяет с учетом влияния размагничивающих полей определить намагниченность волновода как на локальном участке, так и вдоль всей длины волновода магнитострикционного преобразователя угловых перемещений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Воронцов А.А. Исследование изменения быстродействия при удаленном подключении по сети интернет к рабочему столу виртуальной машины частного облака ПензГТУ. XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. 2016. № 3 (31). С. 173-178.
2. Мартышкин А.И., Бикташев Р.А., Воронцов А.А. Численный метод для определения пропускной способности приоритетного потока заявок в многопроцессорной системе с общим диспетчером задач по каждому конкретному типу приоритета. XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. Пенза: ПензГТУ. - 2014. № 3 (19). С. 137-145.
3. Прошкин В.Н. Конструкторско-технологические способы совершенствования магнитострикционных преобразователей линейных перемещений для специальных условий эксплуатации: Дис....канд. техн. наук. – Астрахань, 2007. – 229 с.
4. Воронцов, А.А. Двумерная модель формирования сигнала воспроизведения магнитострикционного наклономера / Ю.Н. Слесарев, А.А. Воронцов // Известия Пензенского государственного педагогического университета. Физико-математические и технические науки. – 2012. – № 30. – С. 462–466.
5. Воронцов, А.А. Математическое моделирование магнитных полей двухкоординатных магнитострикционных наклономеров, содержащих кольцевой или сплошной постоянный магнит / Ю.Н. Слесарев, А.А. Воронцов, Э.В. Карпухин // Известия Пензенского государственного педагогического университета. Физико-математические и технические науки. – 2012. – № 30. С. 467–472.
6. Воронцов А.А. Моделирование магнитной системы конструкций двухкоординатных магнитострикционных наклономеров с расположением магниточувствительных элементов под углом 90 градусов / Ю.Н. Слесарев, А.А. Воронцов, С.В. Родионов, А.М. Зелик // В сб.: Новое слово в науке: перспективы развития Сборник материалов международной научно–практической конференции. Чебоксары, 2014. С. 238 – 240.
7. Прецизионные сплавы. Справочник /Под ред. Молотилова Б.В. -М.: Металлургия, 1983.-439 с.
8. Голямина И.П. Ультразвук. Маленькая энциклопедия. – М.: Советская энциклопедия, 1979. – 400 с.
9. Немцов М.В. Справочник по расчету параметров катушек индуктивности/ М.В. Немцов, Ю.М. Шамаев. – М.: Энергоиздат, 1981. – 136 с.
10. Слесарев Ю.Н. Реверсивные методы записи для оптических дисковых накопителей: Дис....д-ра техн. наук. – Пенза, 2004. – 342 с.

11. Воронцов А.А. Математическое моделирование магнитных полей в двухкоординатных магнитострикционных наклономерах: Дис....канд. техн. наук. – Пенза, 2013. – 160 с.

УДК 519.711.3

ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЕННОСТИ МАГНИТНОГО ПОЛЯ СПЛОШНЫХ ПОСТОЯННЫХ МАГНИТОВ МАГНИТОСТРИКЦИОННЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ЛИНЕЙНЫХ ИЛИ УГОЛОВЫХ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ

Ю.Н. Слесарев¹, А.Н. Саламатин²

¹ профессор кафедры "Автоматизация и управление", д.т.н., Пензенский Государственный Технологический Университет, г. Пенза, Россия, e-mail: SlesarevUN@gmail.com

² аспирант гр.19ТИ, Пензенский Государственный Технологический Университет, г. Пенза, Россия, e-mail: salamatin1994@yandex.ru

Аннотация. в статье подробно рассмотрен анализ основных факторов, влияющих на формирование магнитных полей магнитострикционных преобразователей линейных или угловых перемещений при использовании в них сплошного постоянного магнита. Выполнен анализ влияния каждого фактора. Выведены расчетные формулы по расчету напряженностей магнитных полей, созданных сплошным постоянным магнитом.

Ключевые слова: *моделирование, магнитострикция, магнитострикционный преобразователь, преобразователь угловых перемещений, магнитное поле, математическое моделирование магнитных полей.*

STUDY OF THE MAGNETIC FIELD TENSION OF CONTINUOUS CONSTANT MAGNETS OF MAGNETOSTRICKTION CONVERTERS OF LINEAR OR ANGULAR MOVEMENTS

Yu.N. Slesarev¹, A.N. Salamatin²

¹Ph.D., professor of department " Automation and Control", Penza State Technological University, s. Penza, Russia, e-mail: SlesarevUN@gmail.com

²postgraduate, Penza State Technological University, s. Penza, Russia, e-mail: salamatin1994@yandex.ru

Abstract. The article discusses in detail the analysis of the main factors affecting the formation of magnetic fields of magnetostrictive converters of linear or angular displacements when using a continuous permanent magnet in them. The analysis of the influence of each factor is carried out. Calculation formulas are derived for calculating the strengths of magnetic fields created by continuous permanent magnets.

Keywords: *modeling, magnetostriction, magnetostrictive transducer, angular displacement transducer, magnetic field, mathematical modeling of magnetic fields.*

Введение. В настоящее время во многих видах промышленности для определения углов наклона объекта относительно горизонтали или вертикали все чаще используют различные виды преобразователи угловых перемещений. По ряду основных параметров, таких как точность, стоимость, масса, габариты и быстродействие [1-13] привлекательными являются магнитострикционные преобразователи угловых перемещений (МПУП). В зависимости от области применения, МПУП подразделяют на два основных класса: однокоординатные и двухкоординатные МПУП (ДМПУП). Последние позволяют одновременное определение углов наклона относительно горизонтали или вертикали в двух взаимно перпендикулярных плоскостях.

Одной из перспективных разновидностей ДМПУП, из-за отсутствия в них дисперсии скорости, является ДМПУП с использованием ультразвуковых волн (УЗВ) кручения.

Цель работы.

Целью работы является исследование напряженности магнитного поля сплошных постоянных магнитов магнитострикционных преобразователей линейных или угловых перемещений.

Материал и результаты исследований.

В качестве объекта исследования выберем один из вариантов ДМПУП на УЗВ кручения, схема которого приведена на рис. 1.

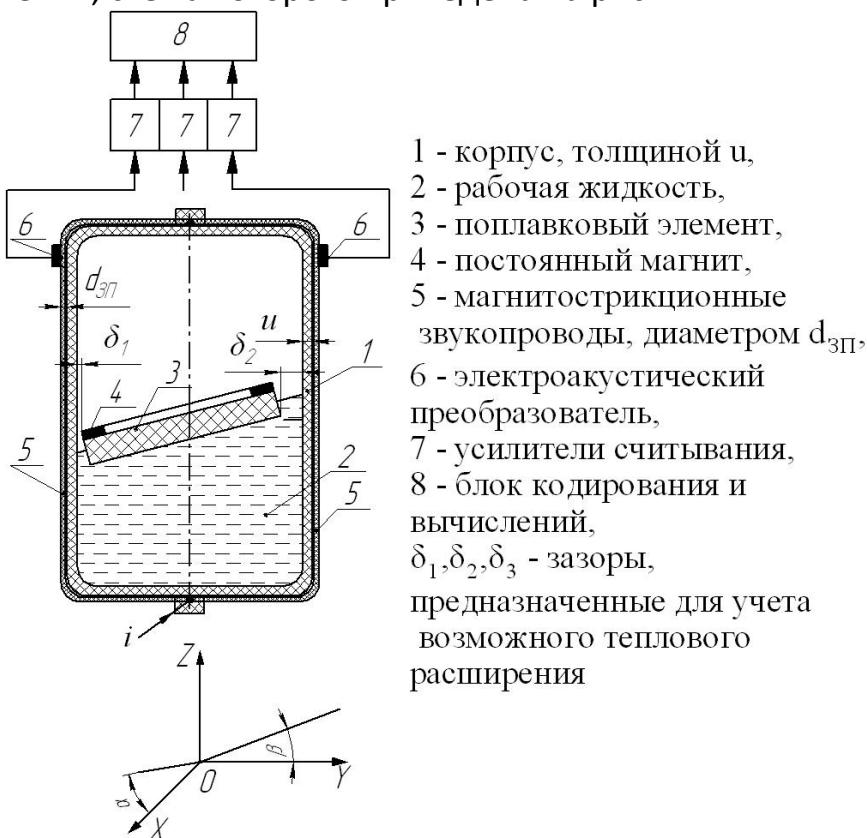


Рисунок 1 – Структурная схема ДМПУП на УЗВ кручения

Следует отметить, что результирующее магнитное поле, формируемое ДМПУП, состоит из двух составляющих – созданной токовым импульсом при протекании им в среде волновода (ВЛ) и созданной постоянным магнитом (ПМ). Последняя составляющая представляет наибольший интерес, так как она зависит от множества факторов, основными из которых являются форма и размеры ПМ, а также значение остаточной намагниченности B_r и коэрцитивной силы H_C .

Задачей данной статьи является оценка влияния каждого из основных факторов, влияющих на формирование магнитного поля созданных сплошным (СПМ) ПМ, используемого в ДМПУП методом математического моделирования. Это позволит улучшить характеристики ДМПУП и снизить его себестоимость.

Одним из способов аналитического преобразования уравнений магнитного поля является их предварительное сведение к уравнению относительно скалярного магнитного потенциала [4]. Данный метод расчета является наиболее эффективным, так как скалярными здесь являются не только рассчитываемая величина, но и решаемое уравнение в целом.

Для моделирования магнитных полей, созданных сплошным ПМ, выведем соответствующую формулу расчета с учетом влияния перечисленных факторов указанным методом применительно к различным конструкциям ДМН.

Известно, что напряженность магнитного поля \bar{H} , созданного фиктивными поверхностными зарядами сплошного ПМ с плотностью $\sigma'_M = M$, согласно рисунку 2, определяется по формуле [5]

$$\bar{H} = \int \frac{dp_m}{R_1^2} \cdot \bar{R}_0, \quad (1)$$

где dp_m - элементарный магнитный момент; \bar{R}_1 - вектор, направленный из точки А(x, y, z), расположенной на верхней или нижней поверхности ПМ в точку В(x', y', z'), расчета напряженности магнитного поля; \bar{R}_0 - единичный вектор в направлении \bar{R}_1 .

Элементарный магнитный момент dp_m можно рассчитать согласно [5] по формуле

$$dp_m = \bar{n} \cdot \bar{M} \cdot ds, \quad (2)$$

где \bar{n} - нормаль к плоскости ПМ, \bar{M} - вектор намагниченности, ds - элементарная площадь ПМ.

С учетом того, что косинус угла θ между векторами \bar{n} и \bar{R}_0 согласно рисунка 2, можно записать как $\cos\theta = \bar{n} \cdot \bar{R}_0 = (z - z')/R_1$, формулы (2), а также,

что $z' = \pm h_M / 2$, $z = 0$, напряженность магнитного поля \bar{H} из (1) определяется выражением:

$$\bar{H} = -\frac{h_M}{2} \int \frac{\bar{M} \cdot ds}{R_1^3} - \frac{h_M}{2} \int \frac{\bar{M} \cdot ds}{R_1^3} = -h_M \int \frac{\bar{M} \cdot ds}{R_1^3}, \quad (3)$$

где h_M - высота ПМ.

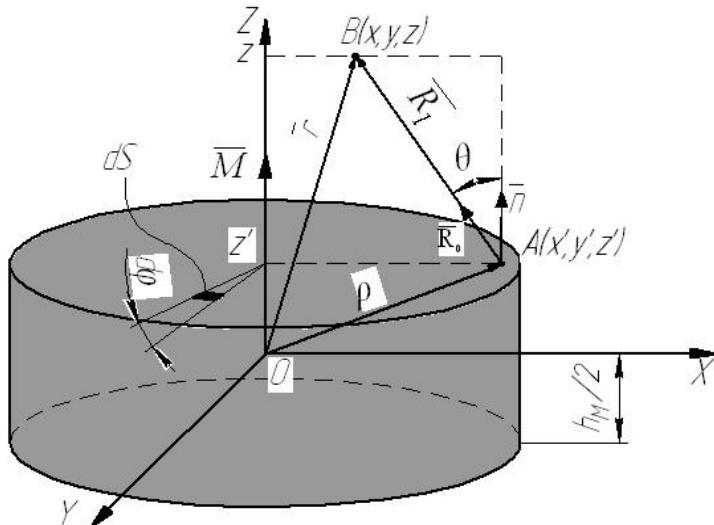


Рисунок 2 - Поясняющий рисунок к расчету магнитного поля ПМ цилиндрической формы

Так как проекции векторов намагниченности и напряженности магнитного поля на ось Z равны $H_z = \bar{H} \cdot \bar{n}$ и $M_z = \bar{M} \cdot \bar{n}$, то выражение (3) для проекции H_z можно записать:

$$H_z = -h_M \int \frac{M_Z \cdot ds}{R_1^3} \quad (4)$$

В цилиндрической системе координат выражение (2.4) имеет вид:

$$H_z(r) = -h_M \cdot M \int_{R_M}^{\infty} \int_0^{2\pi} \frac{\rho \cdot d\rho \cdot d\phi}{(r^2 + \rho^2 - 2 \cdot r \cdot \rho \cdot \cos\phi + \frac{h_M^2}{4})^{\frac{3}{2}}}, \quad (5)$$

где r - расстояние от центра ПМ до точки расчета напряженности магнитного поля, $r = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2}$; ρ - полярный радиус, определяемый расстоянием от центра ПМ до точки, лежащей на его верхней или нижней поверхности, $\rho = \sqrt{x'^2 + y'^2 + z'^2}$; R_M - радиус ПМ.

Выражение (5) можно упростить, используя известное равенство [6]:

$$\int_0^{2\pi} \frac{d\gamma'}{(a' + b'\cos\gamma')^{\frac{3}{2}}} = \frac{1}{(a'^2 - b'^2)} \int_0^{2\pi} \frac{1}{(a' + b')^2} d\gamma', \quad (6)$$

где a' и b' - константы, γ' - угол.

Окончательно, проекция вектора напряженности магнитного поля на ось Z, созданного ПМ радиусом R_M и высотой h_M будет рассчитываться:

$$H_z(r) = 4h_M \cdot M \int_{R_M}^{\infty} \frac{E(k_2)\rho \cdot d\rho}{[(r-\rho)^2 + \frac{h_M^2}{4}] \cdot [(r+\rho)^2 + \frac{h_M^2}{4}]^{\frac{1}{2}}}, \quad (7)$$

где $E(k_2) = \int_0^{\frac{\pi}{2}} \sqrt{1 - k_2^2 (\sin \varphi)^2} d\varphi$ - полный эллиптический интеграл второго рода, $k_2^2 = \frac{4 \cdot r \cdot \rho}{(r+\rho)^2 + \frac{h_M^2}{4}}$.

На основании формулы (7) можно сделать вывод, что напряженность магнитного поля, созданная ПМ в разной степени зависит от его размеров и величины остаточной намагниченности.

Это также наглядно демонстрируют результаты моделирования зависимостей напряженности магнитного поля, созданные сплошным ПМ от высоты h_M (рисунок 3), диаметра D_M СПМ (рисунок 4) а также марки ПМ (рисунок 5). Для моделирования в качестве основного был выбран СПМ с размерами $D_M \times h_M = 110 \times 5$ мм соответственно со значением остаточной индукции $B_r = 0,35$ Тл. Моделируемое значение напряженности определялось вдоль оси абсцисс, совмещенной с центром ПМ.

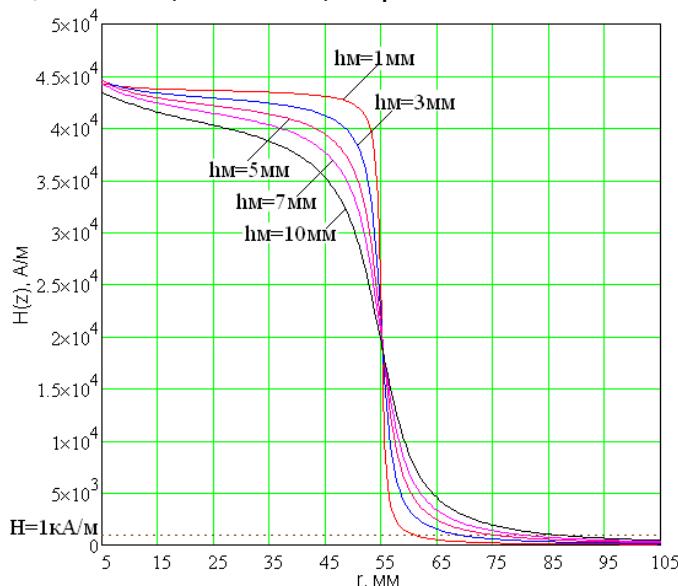


Рисунок 3 - Зависимость напряженности магнитного поля от высоты СПМ

Анализ результатов моделирования, приведенных на рисунках 3 –5, позволяет сделать вывод, что наиболее эффективным способом изменения

напряженности магнитного поля вне ПМ является изменение значения остаточной индукции, определяемой маркой ПМ и высоты.

Изменение диаметра ПМ при значениях $D_M > 5\text{мм}$ сопровождается неизначительным изменением значения напряженности магнитного поля вне ПМ. Поэтому дальнейшее увеличение этого значения является необоснованным.

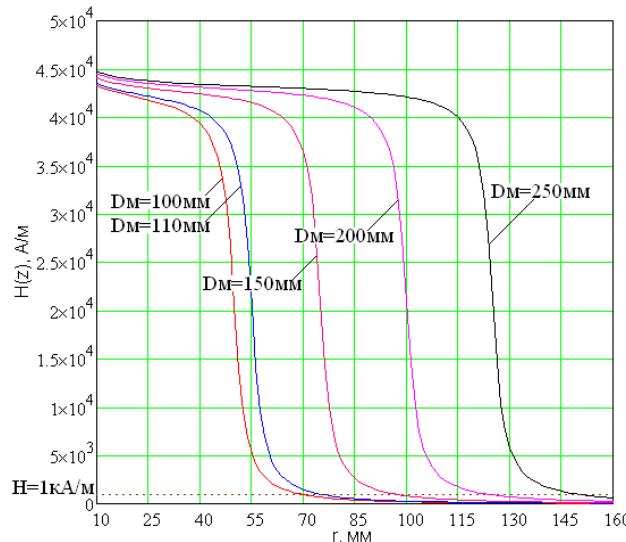


Рисунок 4 – Зависимость напряженности магнитного поля от диаметра СПМ

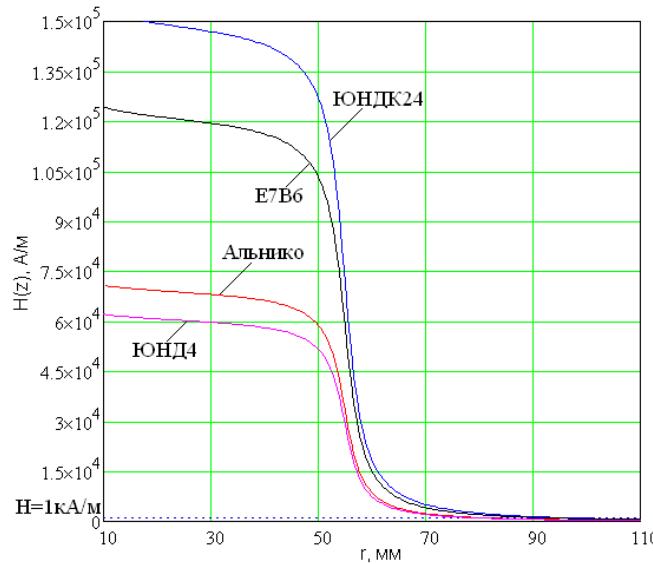


Рисунок 5 – Зависимость напряженности магнитного поля от марки СПМ

Также необходимо отметить, что максимальное значение напряженности магнитного поля было зафиксировано в центре ПМ.

Вывод. Таким образом, полученные в результате теоретического исследования математические формулы позволяют найти оптимальное значение параметров конструкции, что позволяет подобрать оптимальное значение массы и габаритов ДМН, уменьшая при этом его себестоимость изготовления.

ЛИТЕРАТУРА

1. Воронцов А.А. Исследование изменения быстродействия при удаленном подключении по сети интернет к рабочему столу виртуальной машины частного облака ПензГТУ. ХХI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. 2016. № 3 (31). С. 173-178.
2. Прошкин В.Н. Конструкторско-технологические способы совершенствования магнитострикционных преобразователей линейных перемещений для специальных условий эксплуатации: Дис....канд. техн. наук. – Астрахань, 2007. – 229 с.
3. Воронцов, А.А. Двумерная модель формирования сигнала воспроизведения магнитострикционного наклономера / Ю.Н. Слесарев, А.А. Воронцов // Известия Пензенского государственного педагогического университета. Физико-математические и технические науки. – 2012. – № 30. – С. 462–466.
4. Воронцов, А.А. Математическое моделирование магнитных полей двухкоординатных магнитострикционных наклономеров, содержащих кольцевой или сплошной постоянный магнит / Ю.Н. Слесарев, А.А. Воронцов, Э.В. Карпухин // Известия Пензенского государственного педагогического университета. Физико-математические и технические науки. – 2012. – № 30. С. 467–472.
5. Прецизионные сплавы. Справочник /Под ред. Молотилова Б.В. -М.: Металлургия, 1983.-439 с.
6. Голямина И.П. Ультразвук. Маленькая энциклопедия. – М.: Советская энциклопедия, 1979. – 400 с.
7. Немцов М.В. Справочник по расчету параметров катушек индуктивности/ М.В. Немцов, Ю.М. Шамаев. – М.: Энергоиздат, 1981. – 136 с.
8. Слесарев Ю.Н. Реверсивные методы записи для оптических дисковых накопителей: Дис....д-ра техн. наук. – Пенза, 2004. – 342 с.
9. Воронцов А.А. Математическое моделирование магнитных полей в двухкоординатных магнито-стрикционных наклономерах: Дис....канд. техн. наук. – Пенза, 2013. – 160 с.
10. Cozzolino J. Magnet engineering and test results of the high field magnet R&D program at BNL. / J. Cozzolino, M. Anerella, J. Escallier, G. Ganetis, A. Ghosh, R. Gupta, M. Harrison, A. Jain, A. Marone, J. Muratore, B. Parker, W. Sampson, R. Soika, P. Wanderer // IEEE Transactions on Applied Superconductivity. – 2003. - Vol.13, Issue 2, PP. 1347 – 1350.
11. Pradhan S. First Engineering Validation Results of SST-1 TF Magnets System. /S. Pradhan, K. Doshi, A. Sharma, U. Prasad, Y. Khristi, V. Tanna, Z. Khan, A. Varadharajalu, D. Sharma, M. Vora, A. Singh, B. Parghi, M. Banaudha, J. Dhongde, P. Varmora, D. Patel // IEEE Transactions on Applied Superconductivity. – 2014. - Vol. 24, Issue 3, Art. Seq. Num. 4301904.
12. Wiegers S. A. J. Conceptual Design of the 45 T Hybrid Magnet at the Nijmegen High Field MagnetLaboratory. / S. A. J. Wiegers, A. den Ouden, J. Rook, J. A. A. J. Perenboom, H. H. J. ten Kate, M. D. Bird, A. Bonito-Oliva, J. C. Maan // IEEE Transactions on Applied Superconductivity. – 2010. – Vol. 20, Issue 3, PP. 688 – 691.
13. Park D. K. MgB₂ for MRI Magnets: Test Coils and Superconducting Joints Results. / D. K. Park, J. Ling ; M. Rindfleisch ; J. Voccio ; S. Hahn ; J. Bascunan ; M. Tomsic ; Y. Iwasa // IEEE Transactions on Applied Superconductivity. – 2012. – Vol. 22 , Issue 3. Art. Seq. Num. 4400305.

УДК 519.711.3

ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЕННОСТИ МАГНИТНОГО ПОЛЯ КОЛЬЦЕВЫХ ПОСТОЯННЫХ МАГНИТОВ МАГНИТОСТРИКЦИОННЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ЛИНЕЙНЫХ ИЛИ УГЛОВЫХ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ

Ю.Н. Слесарев¹, А.Н. Саламатин²

¹ профессор кафедры "Автоматизация и управление", д.т.н., Пензенский Государственный Технологический Университет, г. Пенза, Россия, e-mail: SlesarevUN@gmail.com

² аспирант гр.19ТИ, Пензенский Государственный Технологический Университет, г. Пенза, Россия, e-mail: salamatin1994@yandex.ru

Аннотация. в статье подробно рассмотрен анализ основных факторов, влияющих на формирование магнитных полей магнитострикционных преобразователей линейных или угловых перемещений при использовании в них кольцевого постоянного магнита. Выполнен анализ влияния каждого фактора. Выведены расчетные формулы по расчету напряженностей магнитных полей, созданных кольцевым постоянным магнитом.

Ключевые слова: *моделирование, магнитострикция, магнитострикционный преобразователь, преобразователь угловых перемещений, магнитное поле, математическое моделирование магнитных полей.*

STUDY OF THE MAGNETIC FIELD STRENGTH OF THE RING PERMANENT MAGNETS OF MAGNETOSTRCTION CONVERTERS OF LINEAR OR ANGULAR MOVEMENTS

Yu.N. Slesarev¹, A.N. Salamatin²

¹ Ph.D., Professor, Department of Automation and Control, Penza State Technological University, s. Penza, Russia, e-mail: SlesarevUN@gmail.com

²postgraduate, Penza State Technological University, s. Penza, Russia, e-mail: salamatin1994@yandex.ru

Abstract. The article discusses in detail the analysis of the main factors affecting the formation of magnetic fields of magnetostrictive converters of linear or angular displacements when using an annular permanent magnet in them. The analysis of the influence of each factor is carried out. Calculation formulas are derived for calculating the magnetic field strengths created by a ring permanent magnet.

Keywords: *modeling, magnetostriction, magnetostrictive transducer, angular displacement transducer, magnetic field, mathematical modeling of magnetic fields.*

Введение. Бурное развитие науки и техники невозможно без разработок, исследований и внедрения новых приборов и устройств, предназначенных для контроля и диагностики механизмов и сооружений во всех видах

производственной деятельности. К таким приборам относятся преобразователи угловых перемещений, предназначенные для определения углов наклона объекта. Преобразователи угловых перемещений используются для определения положения различных высотных сооружений, плотин, для определения величины прогибов и деформаций различного рода опор и балок, контроля углов наклона автомобильных и железных дорог при их строительстве, ремонте и эксплуатации, определения угла наклона дорожных грейдеров, асфальтоукладчиков, подъемников, кранов и экскаваторов и т.д.

Для этих целей в последнее время все чаще находят применение магнитострикционные преобразователи угловых перемещений [1-6]. Их отличительными особенностями являются высокая точность, быстродействие, широкий диапазон преобразования, относительно невысокая себестоимость и простота реализации.

Цель работы.

Целью работы является исследование напряженности магнитного поля кольцевых постоянных магнитов магнитострикционных преобразователей линейных или угловых перемещений.

Материал и результаты исследований.

Магнитострикционные преобразователи угловых перемещений можно условно разделить на две основные группы – однокоординатные (ОМПУП) и двухкоординатные (ДМПУП). ДМПУП позволяют проводить одновременное измерение двух углов наклона объекта во взаимноперпендикулярных плоскостях относительно вертикали или горизонтали.

Следует отметить, что результирующее магнитное поле, формируемое ДМПУП, состоит из двух составляющих – созданной токовым импульсом при протекании им в среде волновода (ВЛ) и созданной постоянным магнитом (ПМ). Последняя составляющая представляет наибольший интерес, так как она зависит от множества факторов, основными из которых являются форма и размеры ПМ, а также значение остаточной намагниченности B_r и коэрцитивной силы H_c .

Задачей данной статьи является оценка влияния каждого из основных факторов, влияющих на формирование магнитного поля созданных кольцевым (КПМ) ПМ, используемых в ДМПУП методом математического моделирования. Это позволит улучшить характеристики ДМПУП и снизить его себестоимость.

Одним из способов аналитического преобразования уравнений магнитного поля является их предварительное сведение к уравнению относи-

тельно скалярного магнитного потенциала [4]. Данный метод расчета является наиболее эффективным, так как скалярными здесь являются не только рассчитываемая величина, но и решаемое уравнение в целом.

Для моделирования магнитных полей, созданных кольцевым ПМ, воспользуемся формулой проекции вектора напряженности магнитного поля на ось Z, созданного ПМ радиусом R_M и высотой h_M для КПМ:

$$H_z(r) = 4h_M \cdot M \int_{R_M}^{\infty} \frac{E(k_2)\rho \cdot d\rho}{[(r - \rho)^2 + \frac{h_M^2}{4}] \cdot [(r + \rho)^2 + \frac{h_M^2}{4}]^{\frac{1}{2}}}, \quad (1)$$

где $E(k_2) = \frac{\pi}{2} \int_0^{\frac{\pi}{2}} \sqrt{(1 - k_2^2(\sin \varphi)^2) d\varphi}$ - полный эллиптический интеграл

второго рода, $k_2^2 = \frac{4 \cdot r \cdot \rho}{(r + \rho)^2 + \frac{h_M^2}{4}}$.

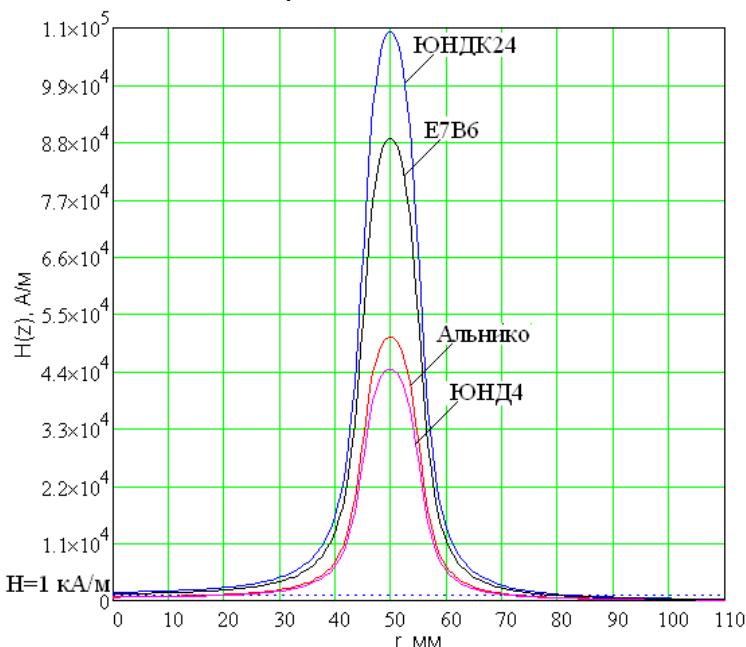


Рисунок 1 – Зависимость напряженности магнитного поля от высоты КПМ

На основании формулы (1) можно сделать вывод, что напряженность магнитного поля, созданная ПМ в разной степени зависит от его размеров и величины остаточной намагниченности.

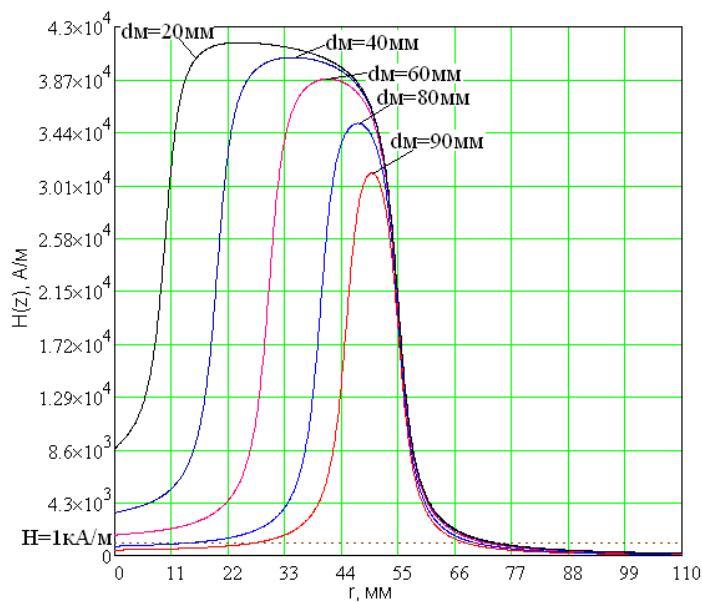


Рисунок 2 – Зависимость напряженности магнитного поля от внутреннего диаметра КПМ

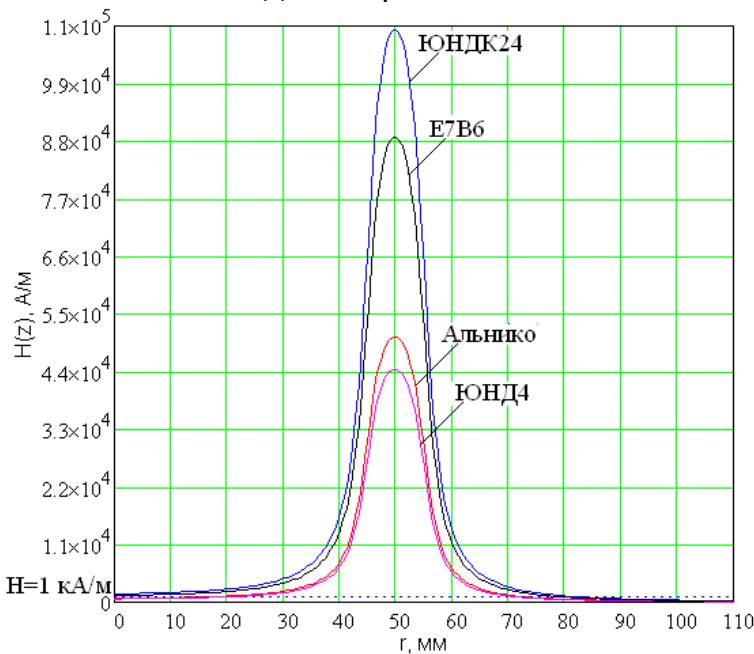


Рисунок 3 – Зависимость напряженности магнитного поля от марки КПМ

Это также наглядно демонстрируют результаты моделирования зависимостей напряженности магнитного поля, созданные колышевым ПМ от высоты h_M (рисунок 1), внутреннего диаметра d_M КПМ (рисунок 2) а также марки ПМ (рисунок 3). Для моделирования в качестве основного был выбран СПМ с размерами $D_M \times d_M \times h_M = 110 \times 90 \times 5 \text{ мм}$ соответственно со значением остаточной индукции $B_r = 0,35 \text{ Тл}$. Моделируемое значение напряженности определялось вдоль оси абсцисс, совмещенной с центром ПМ.

Анализ результатов моделирования, приведенных на рисунках 1–3, позволяет сделать вывод, что наиболее эффективным способом изменения

напряженности магнитного поля вне ПМ является изменение значения остаточной индукции, определяемой маркой ПМ и высоты.

Изменение диаметра ПМ при значениях $D_M - d_M > 5\text{мм}$ сопровождается незначительным изменением значения напряженности магнитного поля вне ПМ. Поэтому дальнейшее увеличение этого значения является необоснованным.

Также необходимо отметить, что максимальное значение напряженности магнитного поля было зафиксировано на расстояниях от центра ПМ вдоль оси абсцисс $r = \frac{d_M + D_M}{4}$.

Вывод. Таким образом, полученные в результате теоретического исследования математические формулы позволяют найти оптимальное значение параметров конструкции, что позволяет подобрать оптимальное значение массы и габаритов ДМН, уменьшая при этом его себестоимость изготовления.

ЛИТЕРАТУРА

1. Воронцов А.А. Исследование изменения быстродействия при удаленном подключении по сети интернет к рабочему столу виртуальной машины частного облака ПензГТУ. XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. 2016. № 3 (31). С. 173-178.
2. Мартышкин А.И., Бикташев Р.А., Воронцов А.А. Численный метод для определения пропускной способности приоритетного потока заявок в многопроцессорной системе с общим диспетчером задач по каждому конкретному типу приоритета. XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. Пенза: ПензГТУ. - 2014. № 3 (19). С. 137-145.
3. Прошкин В.Н. Конструкторско-технологические способы совершенствования магнитострикционных преобразователей линейных перемещений для специальных условий эксплуатации: Дис....канд. техн. наук. – Астрахань, 2007. – 229 с.
4. Воронцов, А.А. Двумерная модель формирования сигнала воспроизведения магнитострикционного наклономера / Ю.Н. Слесарев, А.А. Воронцов // Известия Пензенского государственного педагогического университета. Физико-математические и технические науки. – 2012. – № 30. – С. 462–466.
5. Воронцов, А.А. Математическое моделирование магнитных полей двухкоординатных магнитострикционных наклономеров, содержащих кольцевой или сплошной постоянный магнит / Ю.Н. Слесарев, А.А. Воронцов, Э.В. Карпухин // Известия Пензенского государственного педагогического университета. Физико-математические и технические науки. – 2012. – № 30. С. 467–472.
6. Прецизионные сплавы. Справочник /Под ред. Молотилова Б.В. -М.: Металлургия, 1983.-439 с.

УДК 519.711.3

МОДЕЛИРОВАНИЕ МАГНИТНОЙ СИСТЕМЫ АКУСТИЧЕСКОГО ТРАКТА МАГНИТОСТРИКЦИОННОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ УГОЛОВЫХ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ

Ю.Н. Слесарев¹, А.Н. Саламатин²

¹профессор кафедры "Автоматизация и управление", д.т.н., Пензенский Государственный Технологический Университет, г. Пенза, Россия, e-mail: SlesarevUN@gmail.com

²аспирант гр.19ТИ, Пензенский Государственный Технологический Университет, г. Пенза, Россия, e-mail: salamatin1994@yandex.ru

Аннотация. В данной статье рассмотрено моделирование магнитной системы магнитострикционного преобразователя угловых перемещений. Рассмотрен процесс взаимодействия магнитных полей, созданных токовыми импульсами и постоянным магнитом, процесс формирования токового импульса и деформация волновода при воздействии на него магнитных полей. Для моделирования использовались волноводы с сечением круглой и прямоугольной формы.

Ключевые слова: моделирование, магнитное поле, магнитная система, моделирование магнитной системы, волновод, постоянный магнит, упругие константы, Elcut.

MODELING OF A MAGNETIC SYSTEM OF ACOUSTIC TREATMENT OF A MAGNETOSTRICTION CONVERTER OF ANGULAR MOVEMENTS

Yu.N. Slesarev¹, A.N. Salamatin²

¹ Ph.D., professor, Automation and Control Department, Penza State Technological University, s. Penza, Russia, e-mail: SlesarevUN@gmail.com

²postgraduate, Penza State Technological University, s. Penza, Russia, e-mail: salamatin1994@yandex.ru

Abstract. In this article modeling of magnetic system of the magnetostriiction tiltmeter is considered. Process of interaction of the magnetic fields created by current impulses and a permanent magnet, process of formation of a current impulse and deformation of a wave guide at impact on him of magnetic fields is considered. For modeling wave guides with section round and squared were used.

Keywords: modeling, magnetic field, magnetic system, modeling of magnetic system, wave guide, permanent magnet, elastic constants, Elcut.

Введение. Для определения значения крена судна, положения различных высотных сооружений, плотин, определения величины прогибов и деформаций опор и балок, контроля углов наклона автомобильных и железных дорог при их строительстве, ремонте и эксплуатации, определения угла

наклона дорожных грейдеров, асфальтоукладчиков, подъемников, кранов и экскаваторов применяются приборы, называемые преобразователями угловых перемещений. В последние годы для этих целей все чаще находят применение магнитострикционные преобразователи угловых перемещений.

Цель работы.

Целью работы является моделирование магнитной системы акустического тракта магнитострикционного преобразователя угловых перемещений.

Материал и результаты исследований.

Один из вариантов реализации первичного преобразователя двухкоординатного магнитострикционного преобразователя угловых перемещений приведен на рисунке 1.

Он содержит магнитострикционный преобразователь перемещений, выполненный в виде сферического корпуса 1 из немагнитного материала, например пластика, с заполненной наполовину рабочей жидкостью 2, поплавковым элементом 3 с кольцевым постоянным магнитом 4, однотипными С-образными волноводами 5, 6 из магнитострикционного материала [1-9].

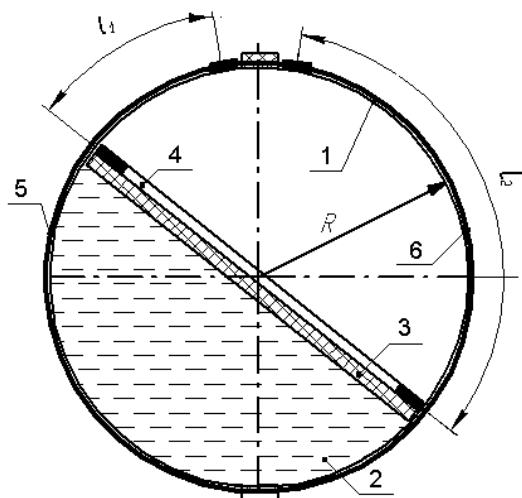


Рисунок 1 – Первичный преобразователь двухкоординатного магнитострикционного преобразователя угловых перемещений

При изменении положения постоянного магнита 4 относительно волновода (ферромагнитного элемента) и протекании по нему импульсного электрического тока, происходит возбуждение ультразвуковых волн в волноводах 5 и 6. Разность пройденных звуковыми волнами путей преобразуется в цифровой код, пропорциональный углу наклона поплавкового элемента 3.

Имеющиеся методики анализа магнитной системы преобразователя угловых перемещений не могут быть использованы из-за приближенных аналитических моделей, лежащих в их основе [10]. Основным инструментом анализа в настоящее время можно считать моделирование сложных процессов с помощью таких программных комплексов как ANSYS, ELCUT и др.

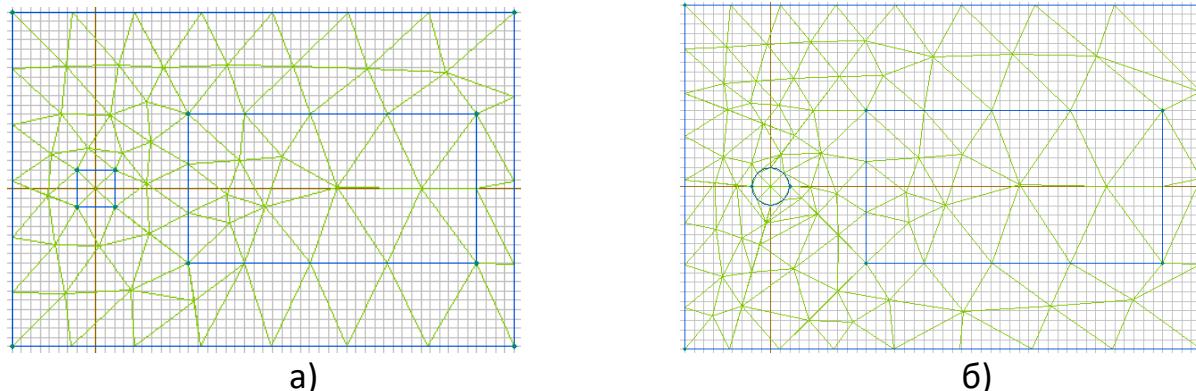


Рисунок 2 – Моделирование магнитной системы двухкоординатного магнитострикционного преобразователя угловых перемещений с использованием волноводов прямоугольного (а) и круглого (б) сечений

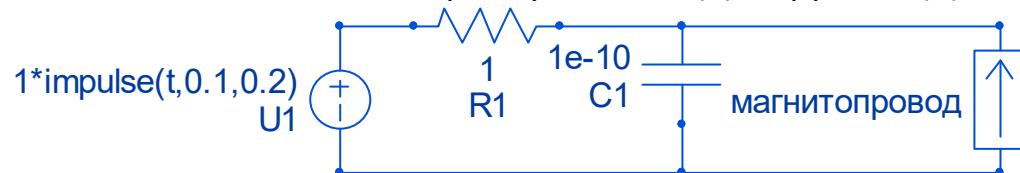


Рисунок 3 – Модель электрической цепи генератора импульсов магнитострикционного преобразователя угловых перемещений

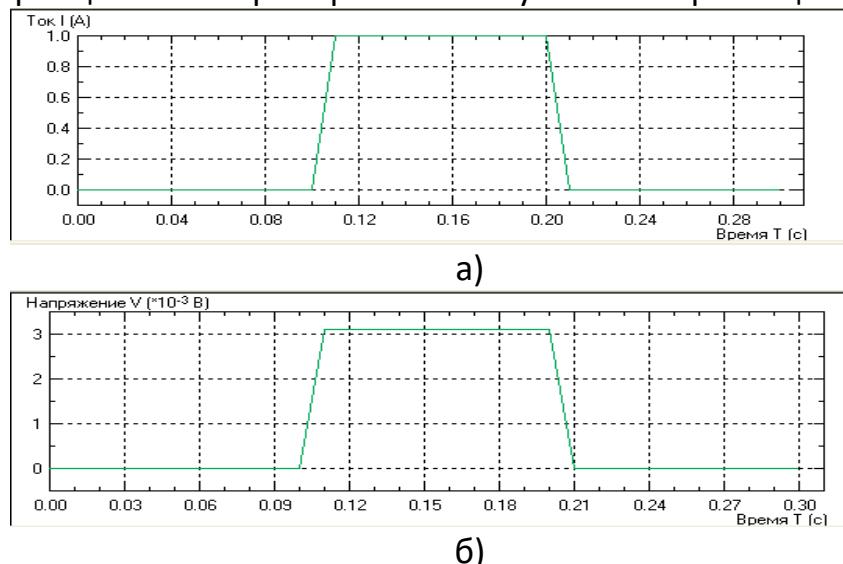


Рисунок 4 – Форма импульса тока (а) и напряжения (б) в волноводе магнитострикционного преобразователя угловых перемещений

В качестве инструмента анализа был выбран ELCUT, представляющий собой интегрированную диалоговую систему программ, позволяющую решать линейные, нелинейные, плоские, осесимметричные задачи, а также связанные задачи нескольких типов, в которых решение, полученное из одной задачи, используется в качестве входных данных для другой задачи.

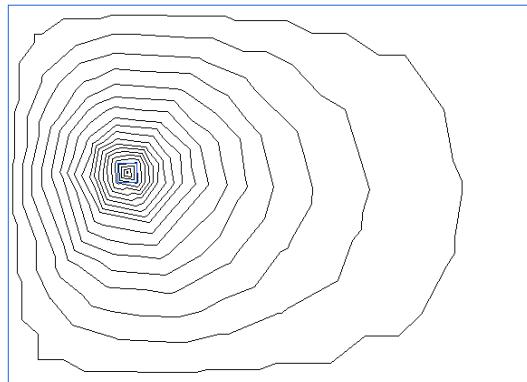


Рисунок 5 – Результат моделирования в программе Elcut магнитного поля, созданного токовыми импульсами при их распространении в среде волновода магнитострикционного преобразователя угловых перемещений

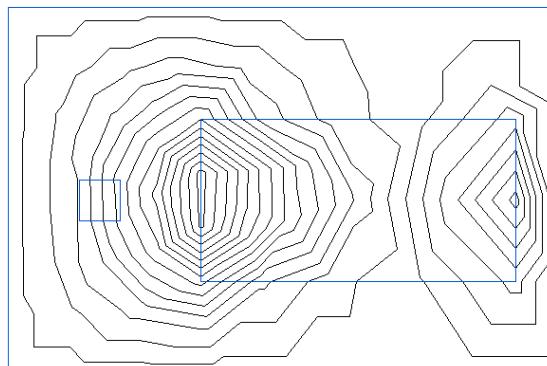


Рисунок 6 – Результат моделирования в программе Elcut магнитных полей, созданных постоянным магнитом и токовыми импульсами в среде волновода

На рисунках 2а и 2б приведены геометрические модели расчетной задачи по определению величин деформации в волноводе преобразователя угловых перемещений для волновода квадратной (а) и круглой (б) формы. Расстояние между узлами сетки составляет 100 мкм.

На рисунке 3 изображена модель электрической цепи импульсного генератора, реализованная в системе ELCUT, служащего источником возбуждения крутильных колебаний в волноводе и форма импульса тока (а) и напряжения (б) в волноводе (рисунок 4а-б).

Магнитное круговое поле волновода, созданное токовым импульсом (рисунок 5) взаимодействует с магнитным полем постоянного магнита (ри-

сунок 6). Для вычислительного эксперимента был выбран постоянный магнит на основе соединения NdFeB обладающий петлей гистерезиса, часть которой была воссоздана в программе Elcut и приведена на рисунке 7. В соответствии с эффектом Видемана в результате взаимодействия магнитных полей, созданных токовыми импульсами и постоянным магнитом, происходит деформация волновода, что вызывает появление крутильных колебаний волновода, представленных его деформацией (рисунок 8). Для моделирования волновода были использованы упругие константы, значения которых приведены на рисунке 9.

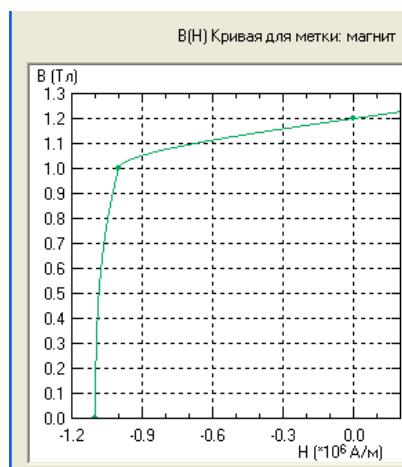


Рисунок 7 – Часть петли гистерезиса для постоянного магнита на основе соединения NdFeB, реализованной в программе Elcut

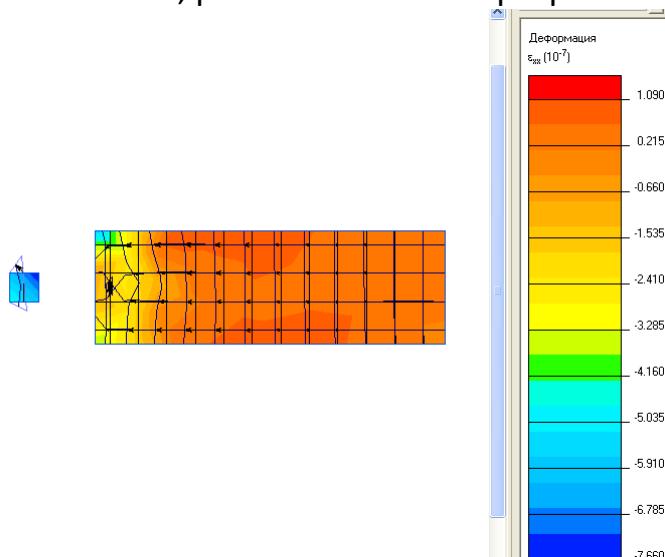


Рисунок 8 – Результат моделирования деформации волновода при взаимодействии магнитных полей постоянного магнита и волновода, представленный в программе Elcut

Чпругие константы Нагрузки Допустимые напряжения

Модуль Юнга

 $E_x = 1.2e+11$ $E_y = 1.2e+11$ $E_z = 1.2e+11$ [Н/м²]

Коэффициент Пуассона

 $\nu_{xy} = 0.3$ $\nu_{xz} = 0.3$ $\nu_{yz} = 0.3$

Модуль сдвига

 $G_{xy} = 4.62e+10$ [Н/м²] Анизотропный материал

Рисунок 9 – Значения упругих констант, используемых при моделировании магнитной системы магнитострикционного преобразователя угловых перемещений

Вывод. Таким образом, моделирование работы магнитной системы преобразователя угловых перемещений с помощью пакета ELCUT позволило выполнить комплексный анализ влияния геометрических, электрических, магнитных, упругих параметров магнитной системы наклономера. В частности, анализ показал, что в волноводе квадратной формы можно получить большую амплитуду звуковой волны, чем в форме круга. Это должно быть учтено при разработке и анализе конструкций магнитострикционных преобразователей.

ЛИТЕРАТУРА

1. Воронцов А.А. Исследование изменения быстродействия при удаленном подключении по сети интернет к рабочему столу виртуальной машины частного облака ПензГТУ. XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. 2016. № 3 (31). С. 173-178.
2. Мартышкин А.И., Бикташев Р.А., Воронцов А.А. Численный метод для определения пропускной способности приоритетного потока заявок в многопроцессорной системе с общим диспетчером задач по каждому конкретному типу приоритета. XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. Пенза: ПензГТУ. - 2014. № 3 (19). С. 137-145.
3. Прошкин В.Н. Конструкторско-технологические способы совершенствования магнитострикционных преобразователей линейных перемещений для специальных условий эксплуатации: Дис....канд. техн. наук. – Астрахань, 2007. – 229 с.
4. Воронцов, А.А. Двумерная модель формирования сигнала воспроизведения магнитострикционного наклономера / Ю.Н. Слесарев, А.А. Воронцов // Известия Пензенского государственного педагогического университета. Физико-математические и технические науки. – 2012. – № 30. – С. 462–466.
5. Воронцов, А.А. Математическое моделирование магнитных полей двухкоординатных магнитострикционных наклономеров, содержащих кольцевой или сплошной постоянный магнит / Ю.Н. Слесарев, А.А. Воронцов, Э.В. Карпухин // Известия Пензенского государственного педагогического университета. Физико-математические и технические науки. – 2012. – № 30. С. 467–472.

6. Воронцов А.А. Моделирование магнитной системы конструкций двухкоординатных магнитострикционных наклономеров с расположением магниточувствительных элементов под углом 90 градусов / Ю.Н. Слесарев, А.А. Воронцов, С.В. Родионов, А.М. Зелик // В сб.: Новое слово в науке: перспективы развития Сборник материалов международной научно–практической конференции. Чебоксары, 2014. С. 238 – 240.
7. Прецизионные сплавы. Справочник /Под ред. Молотилова Б.В. -М.: Металлургия, 1983.-439 с.
8. Голямина И.П. Ультразвук. Маленькая энциклопедия. – М.: Советская энциклопедия, 1979. – 400 с.
9. Слесарев Ю.Н. Реверсивные методы записи для оптических дисковых накопителей: Дис....д-ра техн. наук. – Пенза, 2004. – 342 с.

УДК 519.711.3

К ВОПРОСУ ОПРЕДЕЛЕНИЯ УГЛА НАКЛОНА ПЛОСКОСТИ ДВУХКООРДИНАТНОГО МАГНИТОСТРИКЦИОННОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ УГЛОВЫХ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ ОТНОСИТЕЛЬНО ГОРИЗОНТАЛЬНОЙ ПЛОСКОСТИ

Ю.Н. Слесарев¹

¹профессор кафедры "Автоматизация и управление", д.т.н., Пензенский Государственный Технологический Университет, г. Пенза, Россия, e-mail: SlesarevUN@gmail.com

Аннотация. В данной статье получена расчетная формула угла наклона плоскости двухкоординатного магнитострикционного преобразователя угловых перемещений через углы наклона во взаимПУПе перпендикулярных плоскостях α и β . Совпадение численных значений результатов, полученных при моделировании и экспериментальным методом свидетельствует об адекватности расчетной формулы.

Ключевые слова: угол наклона плоскости, расчет угла наклона, двухкоординатный магнитострикционный преобразователь угловых перемещений, магнитострикционный преобразователь угловых перемещений.

TO THE QUESTION OF DETERMINING THE ANGLE TILT OF THE PLANE OF A TWO-ORDER MAGNETOSTRICTION CONVERTER OF ANGULAR MOVEMENTS REGARDING THE HORIZONTAL PLANE

Yu.N. Slesarev

¹ Ph.D., professor, Department of Automation and Control, Penza State Technological University, s. Penza, Russia, e-mail: SlesarevUN@gmail.com

Abstract. In given article the settlement formula of a corner of an inclination of a plane two-coordinate magnetostrictive tiltmeter through inclination corners in mutually perpendicular planes is received. Coincidence of numerical values of the results received at modelling and an experimental method testifies to adequacy of the settlement formula.

Keywords: model, angle of inclination of the plane, calculation of the angle of inclination, two-coordinate magnetostrictive transducer of angular displacements, magnetostrictive transducer of angular displacements.

Введение. Бурное развитие науки и техники невозможно без разработок, исследований и внедрения новых приборов и устройств, предназначенных для контроля и диагностики механизмов и сооружений во всех видах производственной деятельности. К таким приборам относятся преобразователи угловых перемещений, предназначенные для определения углов наклона объекта. Преобразователи угловых перемещений используются для определения положения различных высотных сооружений, плотин, для определения величины прогибов и деформаций различного рода опор и балок, контроля углов наклона автомобильных и железных дорог при их строительстве, ремонте и эксплуатации, определения угла наклона дорожных грейдеров, асфальтоукладчиков, подъемников, кранов и экскаваторов и т.д.

Для этих целей в последнее время все чаще находят применение магнитострикционные преобразователи угловых перемещений. От известных преобразователей угловых перемещений, таких как [1,3-4] их отличает высокая точность, быстродействие, широкий диапазон преобразования, относительно невысокая себестоимость и простота реализации.

Цель работы.

Целью работы является исследования, связанные с выводом расчетной формулы, позволяющей определить угол наклона плоскости двухкоординатного магнитострикционного преобразователя угловых перемещений относительно горизонтальной плоскости и ее экспериментальная проверка.

Материал и результаты исследований.

Магнитострикционные преобразователи угловых перемещений можно условно разделить на две основные группы – однокоординатные (ОМПУП) и двухкоординатные (ДМПУП). ДМПУП позволяют проводить одновременное измерение двух углов наклона объекта во взаимноперпендикулярных плоскостях относительно вертикали или горизонтали.

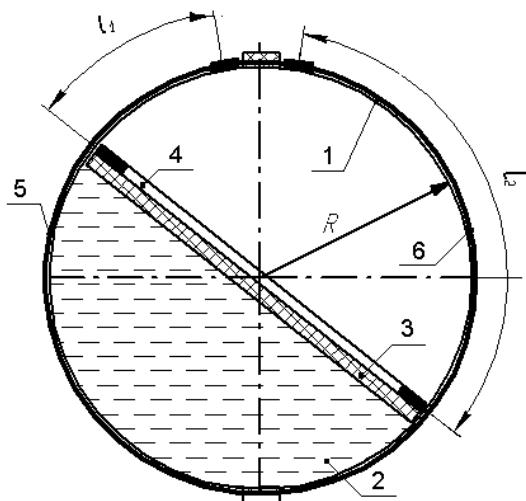


Рисунок 1 - Первичный преобразователь двухкоординатного магнитострикционного угломера

Один из вариантов реализации первичного преобразователя двухкоординатного магнитострикционного угломера приведен на рисунке 1.

Он содержит магнитострикционный преобразователь перемещений, выполненный в виде сферического корпуса 1 из немагнитного материала, например, пластика, с заполненной наполовину рабочей жидкостью 2, поплавковым элементом 3 с кольцевым постоянным магнитом 4, однотипными С-образными волноводами 5, 6 из магнитострикционного материала [2].

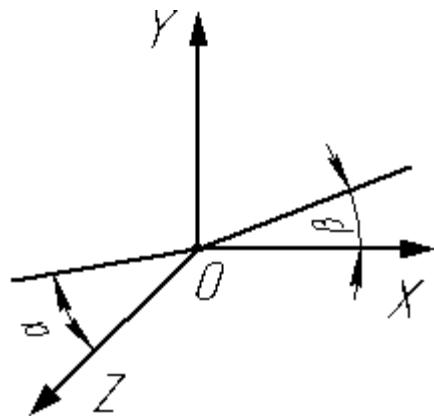


Рисунок 2 - Углы наклона объекта относительно вертикальной плоскости

Для этого представим ДМПУП в виде горизонтальной плоскости Π_1 с базисными векторами \vec{i} , \vec{j} , \vec{k} (рисунок 3а).

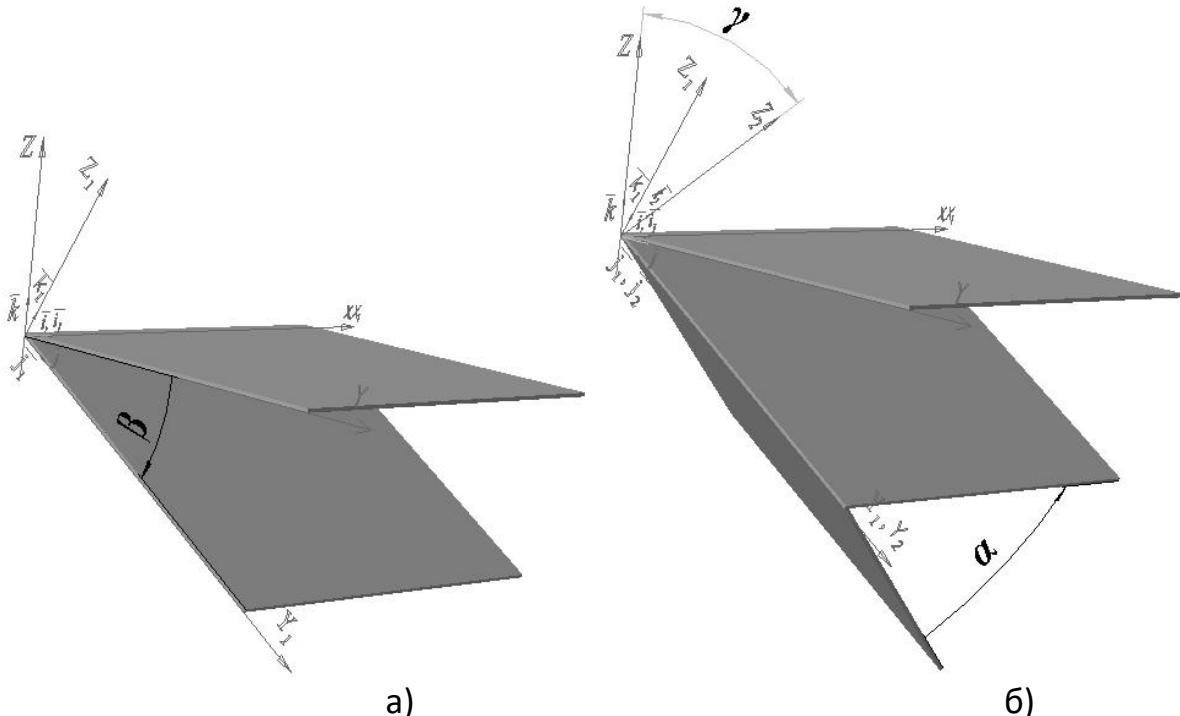


Рисунок 3 - Поворот ДМПУП в одной и двух взаимнoperпендикулярных плоскостях

Одной из возможностей предложенной конструкции двухкоординатного магнитострикционного угломера является возможность косвенного определения кодов величины и знака угла наклона объекта в отклоняемой плоскости γ по рассчитанным значениям кодов углов отклонения объекта в двух взаимнoperпендикулярных плоскостях относительно горизонтали (α и β соответственно), о чем не сказано в упомянутом источнике. Целью данной статья является вывод, проверка и моделирование формулы расчета угла γ через α и β .

Перейдем к новой системе координат К1 с репером $<0, i_1, j_1, k_1>$, смещенной на произвольный угол α в плоскости YOZ относительно К. Базисные вектора систем координат К и К1 будут связаны между собой в соответствии с выражением (1):

$$\begin{cases} \bar{i}_1 = \bar{i} \\ \bar{j}_1 = 0 \cdot \bar{i} + \cos \alpha \cdot \bar{j} + \cos\left(\frac{\pi}{2} + \alpha\right) \cdot \bar{k} \\ \bar{k}_1 = 0 \cdot \bar{i} + \cos\left(\frac{\pi}{2} - \alpha\right) \cdot \bar{j} + \cos \alpha \cdot \bar{k} \end{cases} \quad (1)$$

Поворачивая систему координат К1 на произвольный угол β (рисунок 3б) в плоскости XOZ, получаем систему координат К2 с репером $<0, i_2, j_2, k_2>$

>. Базисные вектора систем координат К1 и К2 будут связаны между собой соответственно:

$$\begin{cases} \bar{i}_2 = \bar{i}_1 \cdot \cos \beta + 0 \cdot \bar{j}_1 + \cos\left(\frac{\pi}{2} + \beta\right) \cdot \bar{k}_1 \\ \bar{j}_2 = \bar{j}_1 \\ \bar{k}_2 = \cos\left(\frac{\pi}{2} - \beta\right) \cdot \bar{i}_1 + 0 \cdot \bar{j}_1 + \cos \beta \cdot \bar{k}_1 \end{cases} \quad (2)$$

Связь между старым базисом (\bar{k}) и новым (\bar{k}_2) базисными векторами, согласно (1) и (2), определяется выражением (3), где коэффициент перед \bar{k} есть направляющий косинус угла γ (4).

$$\begin{aligned} \bar{k}_2 &= \sin \beta \cdot \bar{i} + \cos \beta \cdot (\sin \alpha \cdot \bar{j} + \cos \alpha \cdot \bar{k}) = \\ &= \sin \beta \cdot \bar{i} + \cos \beta \cdot \sin \alpha \cdot \bar{j} + \cos \beta \cdot \cos \alpha \cdot \bar{k} \end{aligned} \quad (3)$$

$$\cos \gamma = \cos \beta \cdot \cos \alpha \Rightarrow \gamma = \arccos(\cos \beta \cdot \cos \alpha) \quad (4)$$

Знак угла γ , а также четверть, в которой происходит отклонение поляризатора относительно вертикальной плоскости можно узнать по отклонениям углов α и β .

Для численной проверки формулы (4) авторами статьи была собрана экспериментальная установка, изображение которой приведено на рисунке 4, состоящей из пластины из оргстекла 1, имитирующей плоскость отклонения ДМПУП от горизонтальной поверхности, представленной поверхностью стола, трех транспортиров 2, предназначенных для фиксации углов отклонения во взаимоперпендикулярных плоскостях α и β относительно горизонтальной плоскости, а также угла наклона плоскости ДМПУП относительно последней γ . Так как угол наклона плоскости удобнее измерять над поверхностью пластины 1, то для задания горизонтальной плоскости, относительно которой и определялся угол наклона плоскости γ был использован жидкостный однокоординатный уровень 3. Для определения направления отклонения плоскости в конструкцию был использован жидкостный двухкоординатный уровень 4.

Так, для одного из опытов при изменении одного из углов отклонения β с помощью книг разной толщины 5 и при неизменном значении второго угла наклона α были получены результаты, приведенные на рисунке 5. Как видно, полученные экспериментальным путем значения отличаются не более 2° от рассчитанных по формуле (4), что свидетельствует о достоверности полученной формулы.

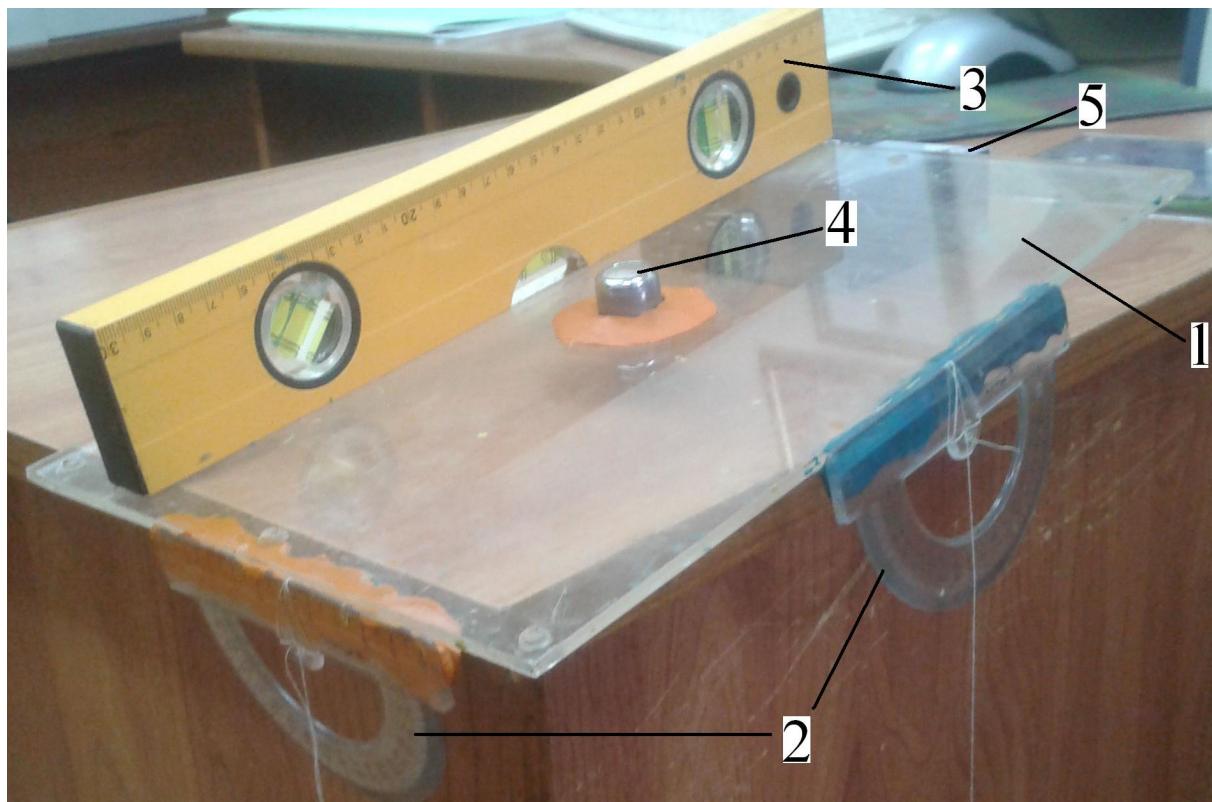


Рисунок 4 - Экспериментальная установка

Данная погрешность вычислений вполне допустима для приведенного стенда, так как систематическая погрешность каждого из транспортиров составляет $0,5^\circ$. Также нужно учитывать случайную погрешность, вызванную несовершенством органов чувств наблюдателя.

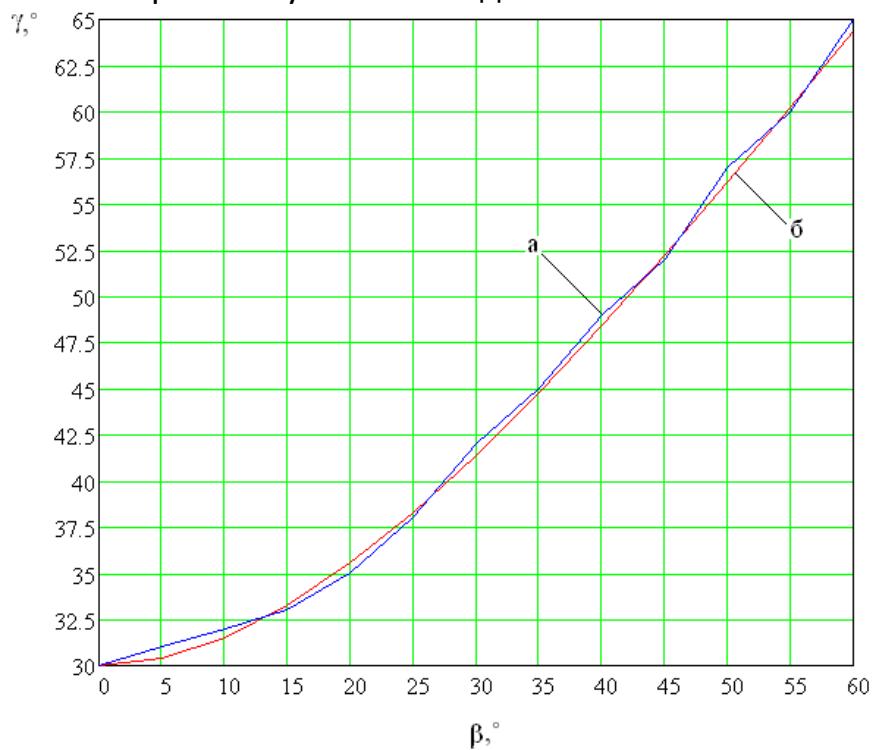


Рисунок 5 Зависимость угла наклона плоскости ДМПУП γ от β при $\alpha = 30^\circ$, полученная по расчетной формуле(а) и экспериментальным путем(б)

Вывод. Таким образом, в данной статье была получена и экспериментально проверена расчетная формула по определению угла наклона плоскости ДМПУП относительно горизонтальной плоскости. Это позволяет существенно увеличить область применения приборов данного класса.

ЛИТЕРАТУРА

1. Воронцов А.А. Исследование изменения быстродействия при удаленном подключении по сети интернет к рабочему столу виртуальной машины частного облака ПензГТУ. ХХI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. 2016. № 3 (31). С. 173-178.
2. Мартышкин А.И., Бикташев Р.А., Воронцов А.А. Численный метод для определения пропускной способности приоритетного потока заявок в МПУПогопроцессорной системе с общим диспетчером задач по каждому конкретному типу приоритета. ХХI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. Пенза: ПензГТУ. - 2014. № 3 (19). С. 137-145.
3. Прошкин В.Н. Конструкторско-технологические способы совершенствования магнитострикционных преобразователей линейных перемещений для специальных условий эксплуатации: Дис....канд. техн. наук. – Астрахань, 2007. – 229 с.
4. Слесарев Ю.Н. Реверсивные методы записи для оптических дисковых накопителей: Дис....д-ра техн. наук. – Пенза, 2004. – 342 с.

УДК 519.711.3

ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЕННОСТИ МАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ ВБЛИЗИ ОСНОВАНИЙ ПОСТОЯННЫХ МАГНИТОВ ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ ФОРМЫ В МАГНИТОСТРИКЦИОННЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯХ УГОЛОВЫХ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ

Ю.Н. Слесарев

¹профессор кафедры "Автоматизация и управление", д.т.н., Пензенский Государственный Технологический Университет, г. Пенза, Россия, e-mail: SlesarevUN@gmail.com

Аннотация. В данной статье подробно рассмотрено моделирование магнитных полей вблизи оснований постоянных магнитов цилиндрической формы. На основании результатов моделирования приведены рекомендации по предотвращению формирования ультразвуковых волн кручения в точках, не предусмотренных расчетами.

Ключевые слова: кольцевой магнит, напряженность магнитного поля, магнитное поле кольцевого магнита, магнитное поле сплошного магнита, напряженность вблизи основания постоянного магнита.

RESEARCH OF MAGNETIC FIELD TENSION NEAR THE BASES OF PERMANENT MAGNETS OF CYLINDRICAL FORM IN MAGNETIC STRICKTION CONVERTERS OF ANGULAR MOVEMENTS

Yu.N. Slesarev

¹Ph.D., professor, Department of Automation and Control, Penza State Technological University, s. Penza, Russia, e-mail: SlesarevUN@gmail.com

Abstract. This article describes in detail the modeling of magnetic fields near the bases of permanent cylindrical magnets. Based on the simulation results, recommendations are given on preventing the formation of ultrasonic torsion waves at points not provided for by calculations.

Keywords: *ring magnet, magnetic field strength, magnetic field of a ring magnet, magnetic field of a solid magnet, tension near the base of a permanent magnet.*

Введение. Для определения положения различных высотных сооружений, плотин, определения величины прогибов и деформаций опор и балок, контроля углов наклона автомобильных и железных дорог при их строительстве, ремонте и эксплуатации, определения угла наклона дорожных грейдеров, асфальтоукладчиков, подъемников, кранов и экскаваторов применяются приборы, называемые преобразователями угловых перемещений [1-8]. В последние годы для этих целей все чаще находят применение магнитострикционные преобразователи угловых перемещений (МПУП).

На данный момент наиболее проработанными являются конструкции МН на продольных и крутильных УЗВ.

МН на крутильных упругих УЗВ можно условно разделить на однокоординатные (ОМПУП) и двухкоординатные (ДМПУП), позволяющие измерение двух углов наклона во взаимно перпендикулярных плоскостях.

Магнитные поля, формируемые ДМПУП зависят от многих параметров конструкции ДМПУП, основными из которых являются параметры постоянных магнитов (ПМ). Необходимо отметить, что напряженность магнитного поля, созданного вблизи оснований ПМ, будет отличным от нуля. При создании опытных образцов ДМПУП необходимо учитывать численное значение напряженности магнитного поля вблизи оснований ПМ, так как это может привести к формированию ультразвуковых волн в точках волновода, не предусмотренных расчетами.

Цель работы. Целью данной статьи является математическое моделирование напряженностей магнитного поля, созданных кольцевым (КПМ) и сплошным (СПМ) ПМ.

Материал и результаты исследований.

Одним из способов аналитического преобразования уравнений магнитного поля является их предварительное сведение к уравнению относительно скалярного магнитного потенциала [6]. Данный метод расчета является наиболее эффективным, так как скалярными здесь являются не только рассчитываемая величина, но и решаемое уравнение в целом.

Для моделирования магнитных полей, созданных КПМ и СПМ, воспользуемся формулой проекции вектора напряженности магнитного поля на ось Z, созданного ПМ радиусом R_M и высотой h_M :

$$H_z(r) = 4h_M \cdot M \int_{R_M}^{\infty} \frac{E(k_2)\rho \cdot d\rho}{[(r - \rho)^2 + \frac{h_M^2}{4}] \cdot [(r + \rho)^2 + \frac{h_M^2}{4}]^{\frac{1}{2}}}, \quad (1)$$

где $E(k_2) = \int_0^{\frac{\pi}{2}} \sqrt{(1 - k_2^2(\sin \varphi)^2} d\varphi$ - полный эллиптический интеграл второго рода, $k_2^2 = \frac{4 \cdot r \cdot \rho}{(r + \rho)^2 + \frac{h_M^2}{4}}$.

Зависимости напряженностей магнитного поля ПМ указанных форм от высоты на фиксированном расстоянии r от центра ПМ, рассчитанные по формуле (1) приведены на рисунках 1 и 2.

Анализ результатов моделирования зависимости напряженностей магнитного поля СПМ и КПМ от высоты на фиксированном расстоянии r от центра ПМ (рисунки 1 и 2), рассчитанных по формуле (1), позволяет сделать вывод о необходимости предотвращения возможности формирования УЗВ кручения в точках, не предусмотренных расчетами углов наклона ДМН относительно горизонтали, расположенных вблизи его оснований, таких как А, В, С и D для КПМ и Е и F для СПМ (рисунок 3).

Этого можно добиться подбором соответствующих размеров и марки ПМ, либо экранированием ПМ, как это показано на рисунке 4.

Результирующее значение напряженности магнитного поля, согласно закону полного тока, определится по формуле [7]

$$H_r^2 = H_{O.P.}^2 + H_k^2 \quad (8)$$

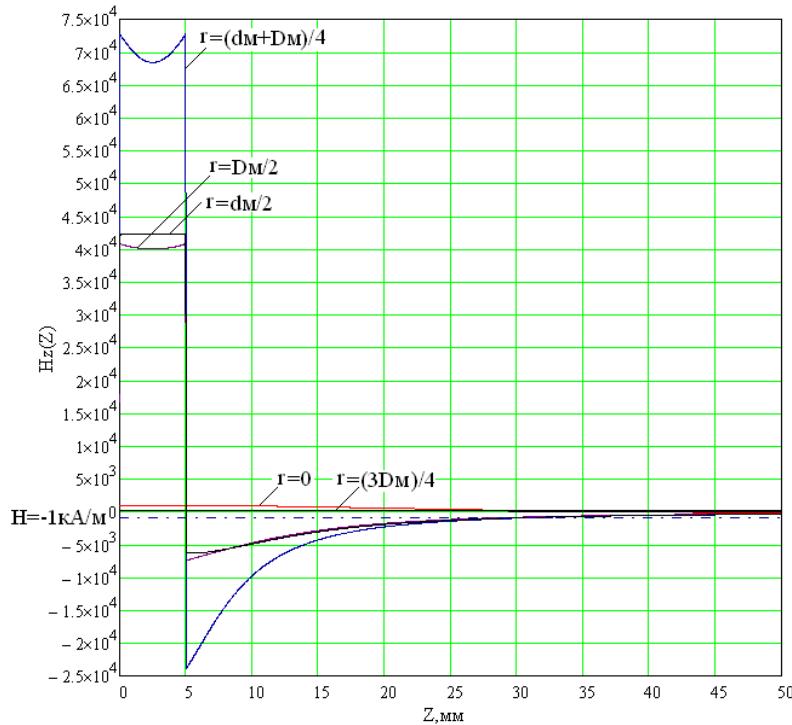


Рисунок 1 - Зависимость напряженностей магнитного поля СПМ от высоты на фиксированном расстоянии r от центра ПМ

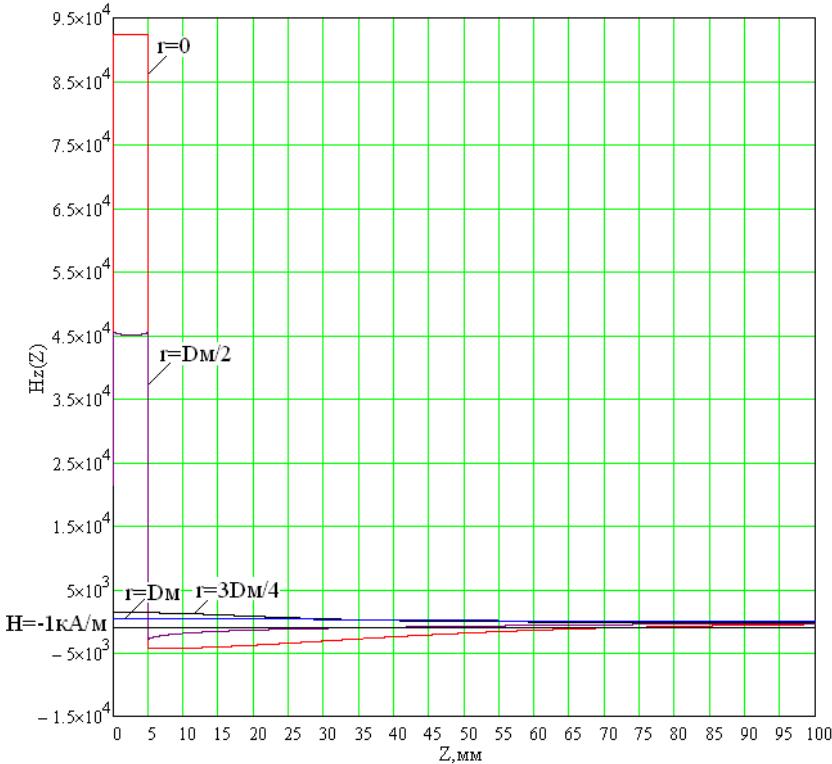


Рисунок 2 - Зависимость напряженностей магнитного поля КПМ от высоты на фиксированном расстоянии r от центра ПМ

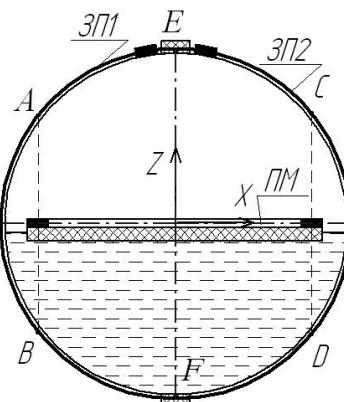


Рисунок 3 - Точки возможного формирования УЗВ СПМ и КПМ

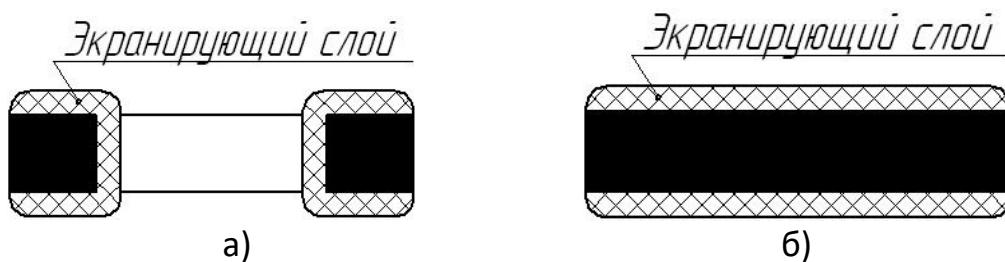


Рисунок 4 - Кольцевой(а) и сплошной(б) ПМ с экранирующим слоем

, где H_r - напряженность результирующего поля, $H_{O.P.}$ - составляющая напряженности магнитного поля, созданная ПМ и рассчитываемая по формуле (7), H_k - составляющая напряженности магнитного поля, созданная токовым импульсом i при протекании им в среде волновода (ВЛ);

$$H_k = \frac{i}{2 \cdot \pi \cdot R}, \text{ где } R \text{- радиус ВЛ.}$$

Следует отметить, что вследствие малости значений амплитуды токового импульса i составляющих несколько десятков миллиампер, значение напряженности магнитного поля H_k получается на несколько порядков меньше $H_{O.P.}$. Исходя из этого, можно сделать вывод, что результирующее значение напряженности магнитного поля для рассматриваемых на рисунках 1-2 случаев моделирования будет незначительно отличаться от значения напряженности H_k .

Вывод. Таким образом, моделирование показало необходимость учета значения напряженностей магнитного поля вблизи оснований ПМ, например, их экранированием. Полученные в результате теоретического исследования математические формулы позволяют найти оптимальное значение параметров конструкции, что позволяет подобрать оптимальное значение массы и габаритов ДМПУП, уменьшая при этом его себестоимость изготовления.

ЛИТЕРАТУРА

1. Воронцов А.А. Исследование изменения быстродействия при удаленном подключении по сети интернет к рабочему столу виртуальной машины частного облака ПензГТУ. XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. 2016. № 3 (31). С. 173-178.
2. Мартышкин А.И., Бикташев Р.А., Воронцов А.А. Численный метод для определения пропускной способности приоритетного потока заявок в многопроцессорной системе с общим диспетчером задач по каждому конкретному типу приоритета. XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. Пенза: ПензГТУ. - 2014. № 3 (19). С. 137-145.
3. Прошкин В.Н. Конструкторско-технологические способы совершенствования магнитострикционных преобразователей линейных перемещений для специальных условий эксплуатации: Дис....канд. техн. наук. – Астрахань, 2007. – 229 с.
4. Воронцов, А.А. Двумерная модель формирования сигнала воспроизведения магнитострикционного наклономера / Ю.Н. Слесарев, А.А. Воронцов // Известия Пензенского государственного педагогического университета. Физико-математические и технические науки. – 2012. – № 30. – С. 462–466.
5. Воронцов, А.А. Математическое моделирование магнитных полей двухкоординатных магнитострикционных наклономеров, содержащих кольцевой или сплошной постоянный магнит / Ю.Н. Слесарев, А.А. Воронцов, Э.В. Карпухин // Известия Пензенского государственного педагогического университета. Физико-математические и технические науки. – 2012. – № 30. С. 467–472.
6. Воронцов А.А. Моделирование магнитной системы конструкций двухкоординатных магнитострикционных наклономеров с расположением магниточувствительных элементов под углом 90 градусов / Ю.Н. Слесарев, А.А. Воронцов, С.В. Родионов, А.М. Зелик // В сб.: Новое слово в науке: перспективы развития Сборник материалов международной научно-практической конференции. Чебоксары, 2014. С. 238 – 240.
7. Голямина И.П. Ультразвук. Маленькая энциклопедия. – М.: Советская энциклопедия, 1979. – 400 с.
8. Слесарев Ю.Н. Реверсивные методы записи для оптических дисковых накопителей: Дис....д-ра техн. наук. – Пенза, 2004. – 342 с.

УДК 621.7

МОДЕЛЮВАННЯ ФРЕЗЕРУВАННЯ КАРМАНІВ В ОБОЛОНЦІ ЗА ДОПОМОГОЮ САМ-МОДУЛЯ ПРОГРАМИ КОМПАС-3D v18

О.М.Теліпко¹, І.В. Вернер², С.Т. Пацера³

¹магістрант кафедри технологій машинобудування та матеріалознавства, e-mail: Telipko.O.M@nmu.one

²провідний інженер лабораторії інформаційних технологій проектування, кафедри конструювання, технічної естетики і дизайну, e-mail: ill3@ukr.net

³кандидат технічних наук, професор кафедри технологій машинобудування та матеріалознавства, e-mail: sergiy.patsera@ukr.net

^{1,2,3}Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», м. Дніпро, Україна

Анотація. У роботі проведено комп’ютерне моделювання фрезерування карманів дослідної оболонки корпусу ракетно-космічного призначення із алюмінієвого сплаву. При моделюванні застосована програма «Модуль ЧПУ. Фрезерная обработка», що є інтегрована в систему тривимірного моделювання КОМПАС-3D v18. Показано, що з трьох стратегій фрезерування карманів («зігзаг», «еквідистанта», «по рядках») найбільш продуктивною є стратегія «зігзаг».

Ключові слова: оболонка, карман, моделювання, фрезерування, стратегія.

SIMULATION OF MILLING CELLS IN SHELL THROUGH THE CAM MODULE COMPAS-3D v18

Alexander Telipko¹, Ilya Verner², Sergiy Patsera³

¹Student, Technologies of Mechanical Engineering and Materials Science Department, e-mail: Telipko.O.M@nmu.one

²Head of Informational Technology Design Laboratory, Engineering and Generative Design Department , e-mail: ill3@ukr.net

³PhD, Professor, Technologies of Mechanical Engineering and Materials Science Department, e-mail: sergiy.patsera@ukr.net

^{1,2,3}Dnipro University of Technology, Dnipro, Ukraine

Abstract. The computer simulation of the milling of cells of the experimental shell of the rocket space housing of aluminum alloy. For simulation, we use the program "CNC Module. Milling Processing", which is integrated into Compas-3D v18. It is shown that of the three pocket milling strategies ("zigzag", "equidistant", "line by line") the most productive is the "zigzag" strategy.

Keywords: shell, cell, modeling, milling, strategy.

Вступ. Перспективними виробами, в яких застосовуються корпусні деталі з ячеїстими оболонками, є космічні кораблі. Наприклад, корпус

американського космічного корабля «Оріон» (рис. 1) являє собою зібраний з декількох секторів усічений конус з ячеїстими оболонками.

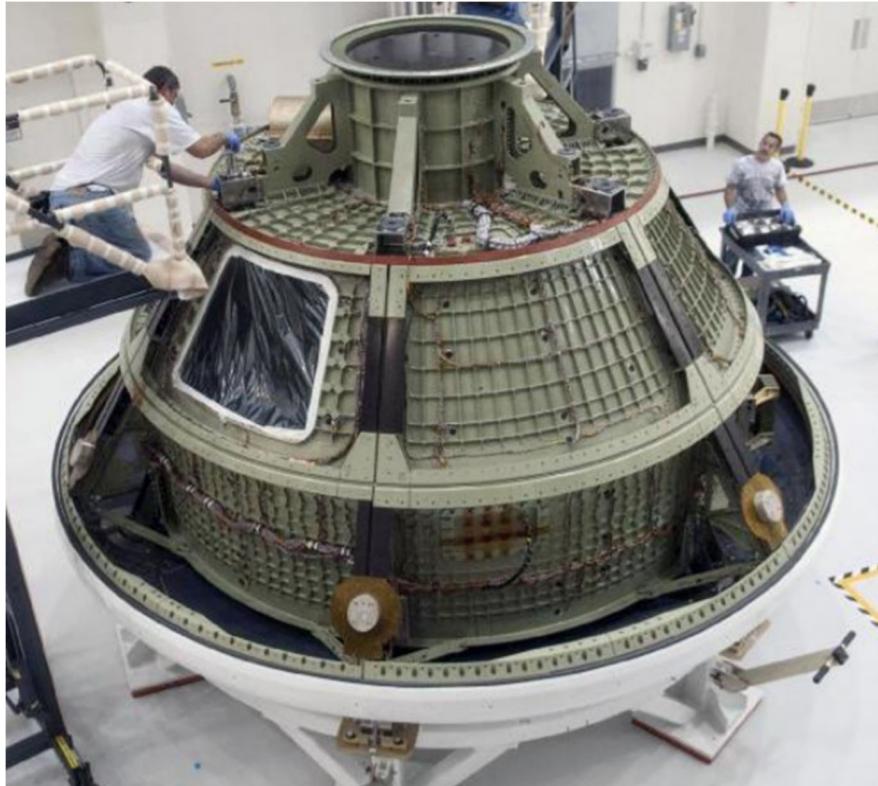


Рисунок 1. – Корпус з ячеїстими оболонками американського космічного корабля «Оріон»[1]

Ячеїста оболонка корпусу космічного корабля – це тонкостінне полотно, виготовлене з високоміцного алюмінієвого сплаву з поздовжніми, поперечними або діагональними ребрами і виконаними з полотном як єдине ціле.

Оболонки корпусу космічного корабля нового покоління можуть являти собою комбінацію декількох сегментів плит плоскої, конічної або циліндричної форми товщиною до 30 мм, що зазвичай зварені між собою, в яких розташовуються кармані (комірки).

Найбільш поширенна технологія виготовлення ячеїстих оболонок вказаного типу передбачає програмне фрезерування карманів циліндричною кінцевою фрезою. У зв'язку із значними габаритами виробів та великою кількістю комірок вибір найліпшої стратегії фрезерування є актуальним питанням.

Відомі дослідження щодо вирішення цього проблемного питання опубліковані в роботі [2], де у результаті комп’ютерного моделювання у САПР «ADEM» у якості стратегії обробки кармана прийнята комбінація «спіраль» і врізання «спіральне по контуру».

Ціль роботи. Метою роботи є визначення раціональної стратегії фрезерування карманів оболонок ракетно-космічного призначення за умови моделювання процесу обробки у програмі «Модуль ЧПУ. Фрезерная обработка» [3]. Модуль є інтегрованим в систему трьох мірного моделювання КОМПАС-3D v18.

Матеріал і результати досліджень.

Рішення поставленої задачі складається із чотирьох етапів.

1. Конструкторсько технологічне проектування дослідного відсіку.

На цьому етапі виконано ескізний проект відсіку, що має у своєму складі дослідну оболонку із алюмінієвого сплаву з карманами (пазами). Геометричні параметри карманів зображені на рис. 2.

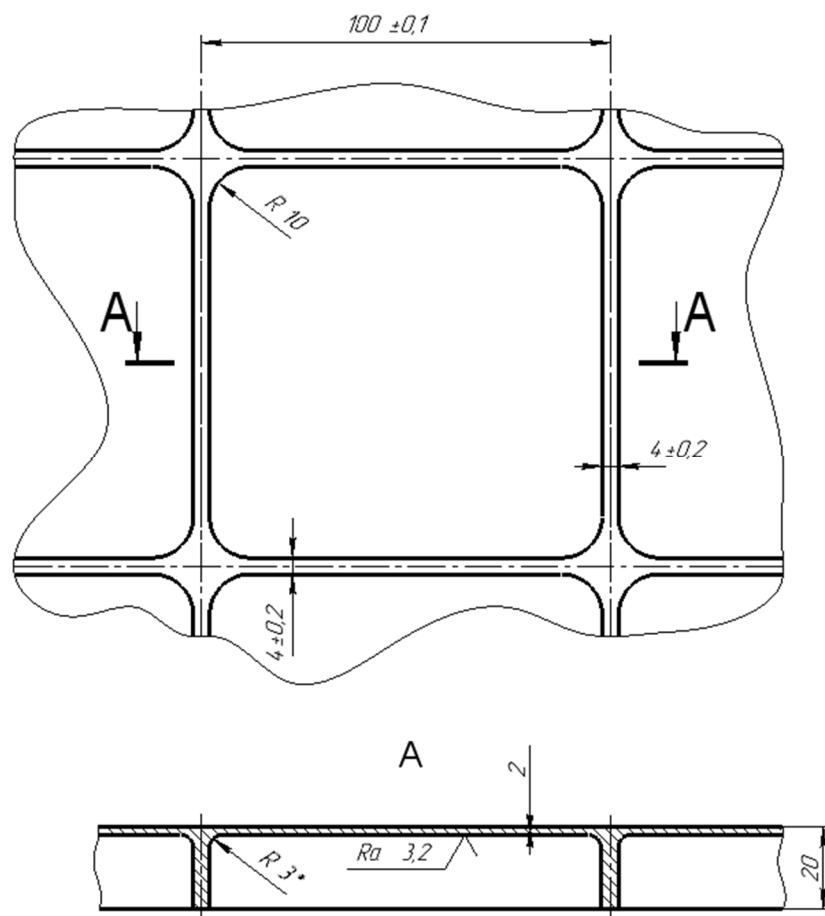


Рисунок 2 – Фрагмент 2D-кресленика дослідного зразка ячеїстої оболонки (вигляд по нормальні до поверхні дна кармана)

Шорсткість поверхонь задана на рівні Ra 3,2 мкм. Радіус заокруглення в кутах кармана складає 10 мм, радіус заокруглення по дну становить 3 мм.

2. Конструкторсько-технологічне проектування 3D-моделі дослідного зразка окремого кармана.

Для вирішення задачі вибору раціональної стратегії фрезерування проведено комп’ютерні експерименти. Початковою геометричною інформацією для моделювання фрезерної обробки на верстаті з ЧПК являлася створена 3D-модель дослідного зразка окремо узятого кармана (рис. 3). Його геометричні параметри відповідають вище вказаним.

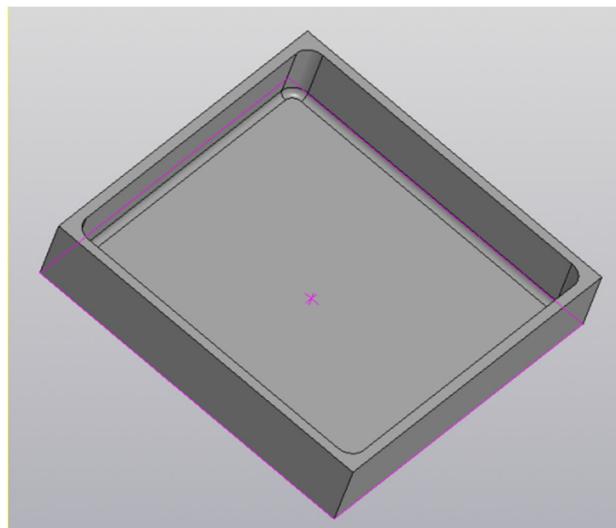


Рисунок 3 – 3D-кресленик моделі комірки (карману)

3. Складання плану обробки.

«Модуль ЧПУ. Фрезерная обработка» є по суті САМ-программою для створення NC-файлу. Алгоритм роботи користувача передбачає послідовне підключення відповідних підпрограм (рис.4). Інструкції для використання вказаних підпрограм детально викладені у файлі «Пример обработки плиты» [3]. Тому немає нагоди його викладати. Зауважимо тільки наступне:

- для моделювання обробки кармана застосовується 2,5D-фрезерування на Z-рівнях;
- обробка поділяється на чорнову та чистову;
- різальний інструмент з твердого сплаву та режими різання вибрані з урахуванням рекомендацій роботи [4], в якій наведені позитивні результати промислового впровадження кінцевої фрези із твердого сплаву для обробки алюмінієвих сплавів. Зокрема підкреслюється, що у порівнянні з обробкою фрезами із швидкорізальної сталі за рахунок збільшення частоти обертання та подачі скорочується на 31 % час механічної обробки оболонки з карманами;
- врізання по осі Z виконано вертикально.

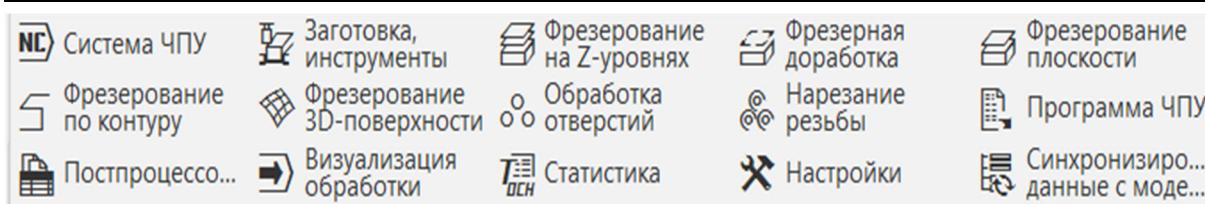


Рисунок 4 – Вкладки для складових підпрограм [3]

Таблиця 1 – Параметри плану обробки

Стадія фрезерування	Різальний інструмент	Відстань між Z-рівнями, мм	Кількість Z-рівнів	Режими різання
Чорнова	Кінцева фреза $d12$ з твердого сплаву для обробки деталей із алюмінієвих сплавів	17	1	Подача 2000 мм/хв; Частота обертань 10000 об/хв; Ширина фрезерування паралельно осі фрези 17 мм; Товщина зрізуемого шару матеріалу по нормальні до осі фрези 6 мм на сторону
Чистова		1	1	Подача 1600 мм/хв; Частота обертань 15000 об/хв; Ширина фрезерування паралельно осі фрези 1 мм; Товщина зрізуемого шару матеріалу по нормальні до осі фрези 1 мм на сторону

Технологічна схема фрезерування карману кінцевою фрезою показана на рис. 5.

4. Комп'ютерні експерименти для визначення основного (машинного) часу обробки карману при різних стратегіях фрезерування.

Проведено комп'ютерне моделювання фрезерування карману із алюмінієвого сплаву. При моделюванні застосована програма «Модуль ЧПУ. Фрезерная обработка», що є інтегрована в систему тривимірного моделювання КОМПАС-3D v18. На рис 6 – 8 послідовно показані три

стратегії фрезерування карманів: «зігзаг», «еквідистанта», «по рядках». Для кожного з варіантів визначено основний (машинний) час обробки.

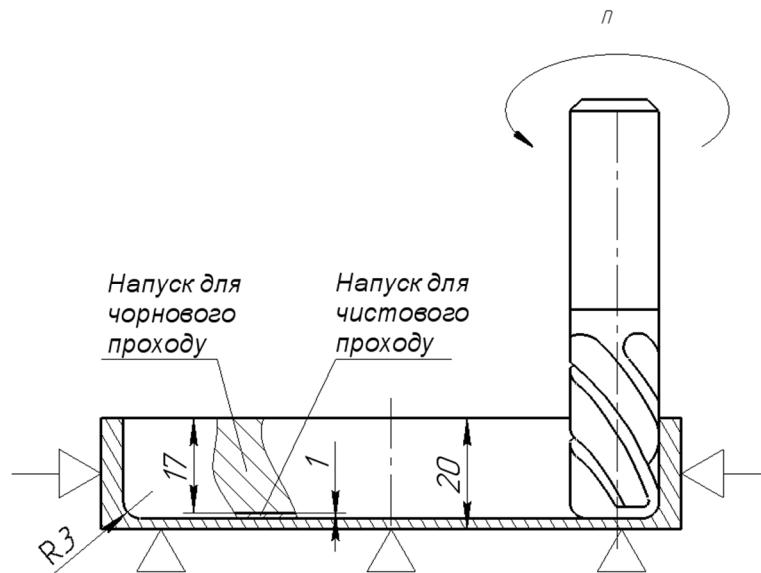


Рисунок 5 – Технологічна схема операції фрезерування карману

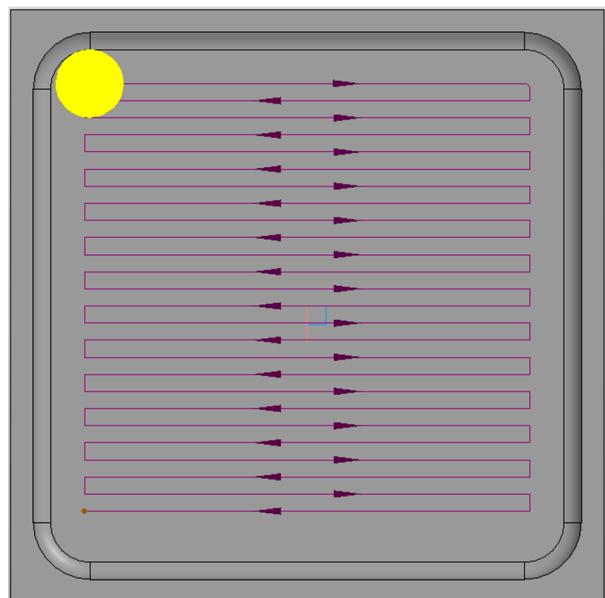


Рисунок 6 – Схема фрезерування карману за стратегією «зігзаг»

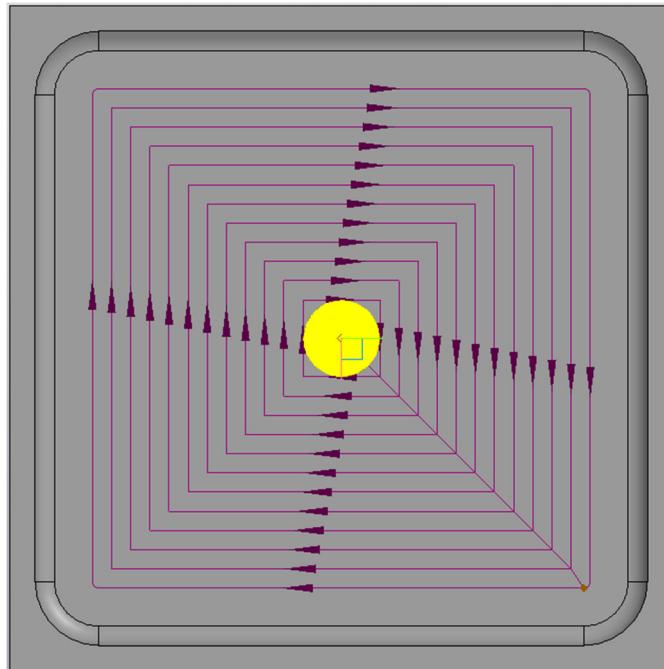


Рисунок 7 – Схема фрезерування карману за стратегією «еквідистанта»

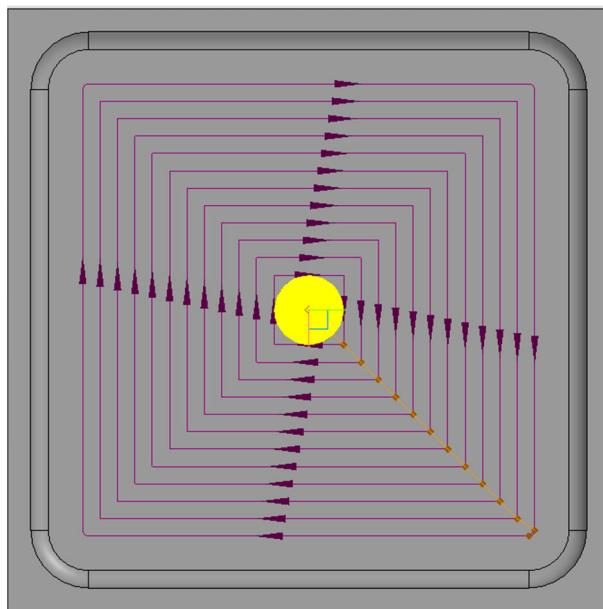


Рисунок 8 – Схема фрезерування карману за стратегією «по рядках»

Результати визначення основного часу обробки показані на рис. 9.

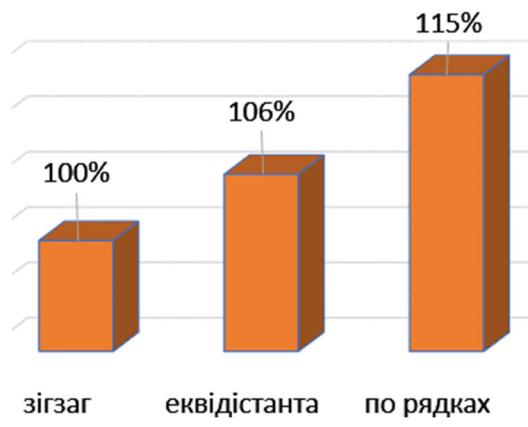


Рисунок 9 – Порівняння основного часу обробки карману за різними стратегіями фрезерування

Висновки.

- За умови врахування закладених при моделюванні початкових даних, обмежень та допущень найбільш продуктивною стратегією фрезерування карманів є стратегія «зігзаг».
- Стримуючим фактором підвищення рівня адекватності САМ-додатку системи КОМПАС-3D v18 є поки що обмежена база даних конструкцій фрез.

ЛІТЕРАТУРА

- Космическая миссия: какой корабль доставит людей на Марс [интернет ресурс] URL: <https://newsland.com/community/8223/content/kosmicheskaya-missiya-kakoi-korabl-dostavit-liudei-na-mars/6341966>
- Грубый С.В., Зайцев А.М. Оптимизация режимных параметров фрезерования карманов в корпусных деталях из алюминиевых сплавов / С.В. Грубый, А.М. Зайцев // Наука и образование. Электронное научно-техническое издание. 2015. – №7. – С. 44 - 45. DOI 10.7463/0715.0780928
- Модуль ЧПУ. Фрезерная обработка [интернет ресурс] URL: <https://kompas.ru/kompas-3d/application/machinery/module-chpu-fo/>
- Цугленок М.Н. Фрезы для высокоскоростной обработки алюминиевых сплавов деталей ракетно-космической техники // Решетневские чтения [Электронный ресурс]: материалы XXI Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. памяти генерального конструктора ракетно-космических систем академика М. Ф. Решетнева (08–11 нояб. 2017, г. Красноярск) : в 2 ч. / СибГУ им. М. Ф. Решетнева. – Красноярск, 2017. Ч. 1. – Режим доступа: <https://reshetnev.sibsau.ru/page/materialykonferentsii>. – Загл. с экрана.

УДК 539.4.01:004.42

РАЗРАБОТКА КОМПЬЮТЕРНЫХ ПРОГРАММ ДЛЯ УПРОЩЁННОЙ МЕТОДИКИ РАСЧЁТА НА ПРОЧНОСТЬ ДВУТАВРОВЫХ БАЛОК

Ю.С. Холодняк¹, А.А. Костиков², С.В. Капорович³

¹ к.т.н., доцент, зав. кафедрой технической механики, e-mail: holodhjak.yuri@gmail.com

²к.ф.-м.н., доцент кафедры автоматизации производственных процессов, e-mail: alexkst63@gmail.com

³ к.т.н., ст.преподаватель кафедры технической механики, e-mail: kaporovych@gmail.com

^{1, 2, 3} Донбасская государственная машиностроительная академия, г. Краматорск, Украина

Аннотация. Созданы в системе Mathcad программы расчётов на прочность статически определимых двутавровых балок. Компьютер изображает эпюры внутренних усилий, устанавливает минимальный номер двутавра, удовлетворяющий условиям прочности. Выполненные разработки рекомендованы студентам и производственным специалистам для использования в учебных целях и инженерной практике.

Ключевые слова: двутавровые балки, расчёты на прочность, упрощённая методика, сквозные компьютерные программы, примеры расчетов.

SOFTWARE DEVELOPMENT FOR SIMPLIFIED METHODS OF CALCULATING THE STRENGTH OF I-BEAMS

Yuri Kholodniak¹, Alexander Kostikov², Svitlana Kaporovych³

¹Ph.D., Associate Professor, Head of Technical Mechanics Department, e-mail: holodnijak.juri@gmail.com

²Ph.D., Associate Professor of Manufacturing Processes and Automation Engineering Department, e-mail: alexkst63@gmail.com

³Ph.D., Senior Lecturer of Technical Mechanics Department, e-mail: kaporovych@gmail.com

^{1,2,3} Donbass State Engineering Academy, Kramatorsk, Ukraine

Abstract. Programs for calculating the strength of statically definable I-beams were created in the Mathcad system. The computer plots internal forces and sets the minimum I-beam number that meets the strength conditions. The completed developments are recommended to students and production specialists for use in educational purposes and engineering practice.

Keywords: plane trusses, forced oscillations, mathematical model, resonant frequencies, power calculations.

Введение. В нынешнюю эпоху стремительного развития техники особое значение приобретает подготовка ВУЗами высокообразованных специ-

алистов, владеющих солидным комплексом теоретических знаний и практических навыков, которые необходимы для создания всё более сложных образцов новой техники. Важную роль в этом призвано сыграть совершенствование базовых дисциплин инженерной подготовки, наполнение их новыми знаниями, углубляющими существующие теоретические представления.

Одними из основных в курсе сопротивления материалов, который закладывает фундамент инженерных расчётов, являются вопросы прочности массово используемых в машиностроении, строительстве и ряде других отраслей промышленности конструктивных элементов стержневой формы, работающих в условиях плоского изгиба и именующихся балками.

Балки могут иметь различные формы поперечных сечений, однако наиболее распространёнными среди них являются балки двутаврового профиля (рис. 1), так как они сочетают в себе экономические преимущества с удобствами монтажа и эксплуатации.

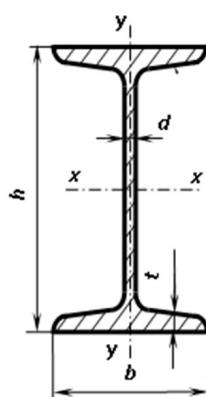


Рисунок 1 – Двутавровый профиль (по ГОСТ 8239-89)

Считается общепризнанным [1-5 и др.], что для обеспечения надёжной эксплуатации балки должны соблюдаться условия её прочности по нормальным (1), касательным (2) и эквивалентным (3) напряжениям:

$$\sigma_{\max} \leq [\sigma]; \quad (1)$$

$$\tau_{\max} \leq [\tau]; \quad (2)$$

$$\sigma_{\max}^{\text{экв.}} \leq [\sigma], \quad (3)$$

где $[\sigma]$ и $[\tau]$ – соответственно допускаемые нормальные и касательные напряжения.

При традиционном ("ручном") расчёте полная проверка прочности балки по условиям (1)-(3) достаточно сложна и малопродуктивна, так как

предполагает выполнение ряда графических построений и вычислений, требующих соответствующей квалификации и немалых затрат времени [6,7]. Что же касается большого количества изложенных в сети Интернет компьютерных средств для такого расчета (ABAGUS, ANSUS, COSMOSWorks и др.), то они, как правило, являются достаточно сложными для применения и слишком дорогими, а потому недоступны широкому кругу пользователей.

В ранее опубликованных работах [8,9] на основе фундаментальных теоретических исследований предложена упрощённая (графическая) методика комплексной оценки прочности двутавровых балок, основанная на так называемых безопасных факторных пространствах двутавров (рис. 2).

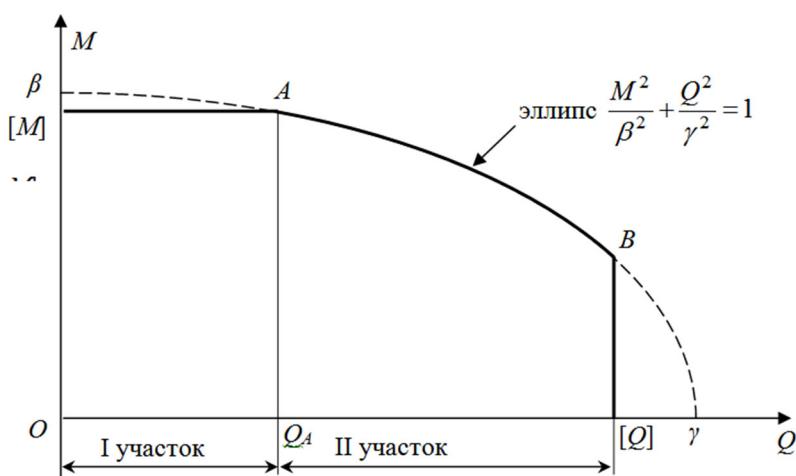


Рисунок 2 – Вид безопасного факторного пространства двутавров

Параметры этого пространства — β , γ , $[M]$, $[Q]$ зависят от размеров (номера) двутавра, его материала и принятой теории прочности [8,9].

Полная прочность балки в новой методике является обеспеченной, если все точки, имеющие координаты Q (поперечная сила) и M (изгибающий момент) в сечениях балки, расположены внутри указанного факторного пространства. Таким образом, для полной проверки прочности конкретной балки по этой методике достаточно иметь построенные для неё эпюры Q и M и чертежи её безопасного факторного пространства.

Использование указанной методики возможно в двух режимах: диалоговом и автоматическом.

В диалоговом режиме расчётчик строит эпюры Q и M “вручную” или с использованием имеющихся у него соответствующих компьютерных программ, вводит в компьютер исходные данные из этих эпюр о величинах Q и M в сечениях балки и запускает специальную программу для определения номера двутавра, который удовлетворяет условиям прочности (1)-(3).

В автоматическом режиме расчёты только вводят исходные данные о размерах и нагрузке балки, а все необходимые вычисления и построения выполняет компьютер по специальной сквозной программе.

Диалоговый режим не в полной мере лишен вышеуказанных недостатков традиционного расчёта балок на прочность и поэтому является мало-пригодным для широкого практического применения.

Цель работы. Целью данной работы является разработка сквозных компьютерных программ полного расчета на прочность статически определимых двухпорочных и консольных двутавровых балок по упрощенной (графической) методике.

Материал и результаты исследований.

Обе указанные программы созданы на платформе Mathcad. Они существенно отличаются друг от друга лишь на стадии ввода исходных данных.

Для задания исходных данных двухпорочных балок предложено их унифицированную схему, изображенную на рисунке 3. На её основе можно воспроизвести любые конкретные размеры и нагрузки.

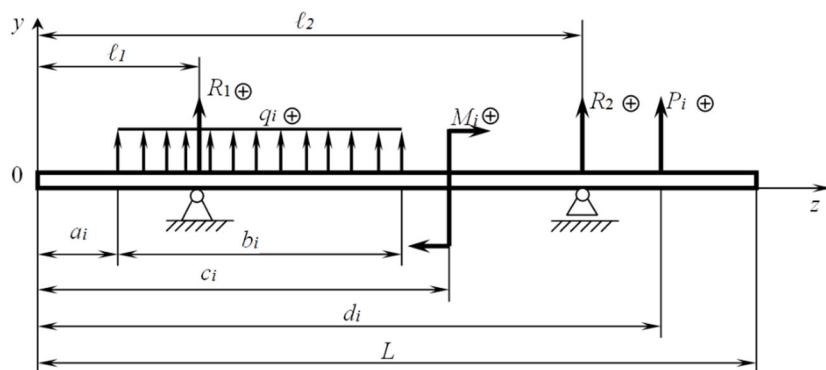


Рисунок 3 – Унифицированная схема двухпорочных балок

Вариантов унифицированных схем консольных балок два: один – для опоры (жёсткого крепления) справа (рис. 4), второй – для опоры слева (рис. 5).

На всех унифицированных схемах положительные направления нагрузок и реакций обозначены знаками "плюс".

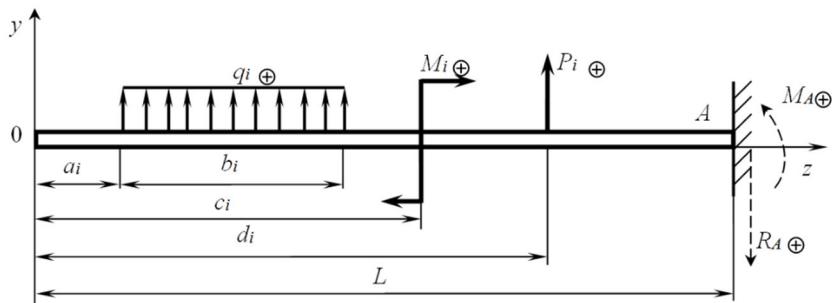


Рисунок 4 – Унифицированная схема консольных балок с опорой справа

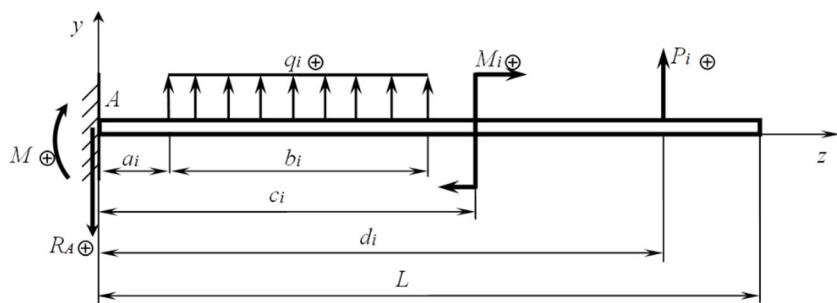


Рисунок 5 – Унифицированная схема консольных балок с опорой слева

Каждый из видов нагрузок может повторяться несколько раз ($i=1, 2, \dots$). В рабочих версиях программ, использованных в приведенных ниже примерах, $i=1, 2$.

Обе разработанные программы определяют опорные реакции, строят эпюры поперечных сил и изгибающих моментов, изображают безопасные факторные пространства с нанесенными на них точками, подбирают требуемые номера двутавров, приводят свидетельства того, что подобранный номер двутавра – наименьший из тех, которые удовлетворяют все условия прочности.

Для функционирования программ в них заложены в общем виде формулы для определения опорных реакций, зависимости величин Q и M от координаты z, параметры безопасных факторных пространств для всех номеров двутавров по ГОСТ 8239-89 (табл.1). Эти параметры вычислены по формулам, приведенным в работах [8,9], применительно к наиболее распространенному материалу двутавров – стали Ст.З и третьей теории прочности, которая надёжнее четвертой, потому что даёт меньшие размеры безопасных факторных пространств.

Работу одной из созданных программ проиллюстрируем следующим примером.

Таблица 1 – Параметры безопасных факторных пространств двутавров
(сталь Ст.3, $[\sigma] = 160 \text{ МПа}$, третья теория прочности)

Номера двутавров	$\beta, \text{кН}\cdot\text{м}$	$\gamma, \text{кН}$	$[M], \text{кН}\cdot\text{м}$	$[Q], \text{кН}$
10	7,402	37,758	6,352	30,991
12	10,626	49,714	9,344	39,881
14	14,643	60,227	13,072	47,911
16	19,346	70,878	17,440	56,051
18	25,201	81,860	22,880	64,658
18a	28,005	80,166	25,440	64,971
20	32,140	93,137	29,440	73,600
20a	35,536	91,513	32,480	74,077
22	40,276	106,648	37,120	84,091
22a	44,154	104,441	40,640	84,285
24	50,100	120,338	46,240	95,097
24a	55,172	118,225	50,720	95,640
27	64,026	147,557	59,360	114,515
27a	70,513	144,836	65,110	115,284
30	81,030	180,046	75,520	137,373
30a	89,361	176,713	82,880	138,548
33	102,367	215,074	95,520	162,549
36	127,657	252,820	118,880	189,787
40	163,097	316,526	152,480	232,241
45	210,216	392,515	196,960	281,236
50	270,712	494,005	254,240	345,828
55	346,380	605,383	325,600	416,990
60	435,470	727,747	409,600	494,526

Пример. Для заданной двухпорной балки (рис.6) определить номер двутавра, достаточный для обеспечения её полной прочности.

Решение.

1. Введение сосредоточенных сил, моментов пар сил и их расположения:

Ведите сосредоточенные силы P , их расположение d , моменты пар сил M и их расположение с

$$P := \begin{pmatrix} -55 \\ 0 \end{pmatrix} \text{kN} \quad d := \begin{pmatrix} 2 \\ 0 \end{pmatrix} \text{m} \quad M := \begin{pmatrix} 45 \\ 0 \end{pmatrix} \text{kN}\cdot\text{м} \quad c := \begin{pmatrix} 2.8 \\ 0 \end{pmatrix} \text{m}$$

2. Введение длины балки, расположения опор на ней, распределённых нагрузок, их расположения и протяжённости:

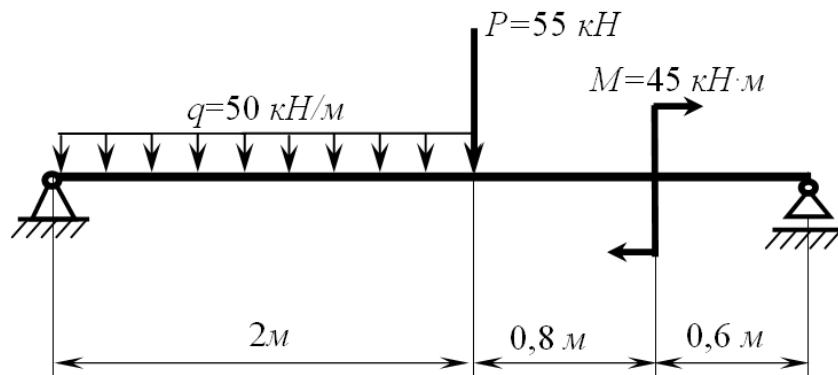


Рисунок 6 – Схема балки к примеру 1

Ведите распределенные нагрузки q , их расположение a , протяженность b , длину балки L и расположение опор на балке l_1 и l_2

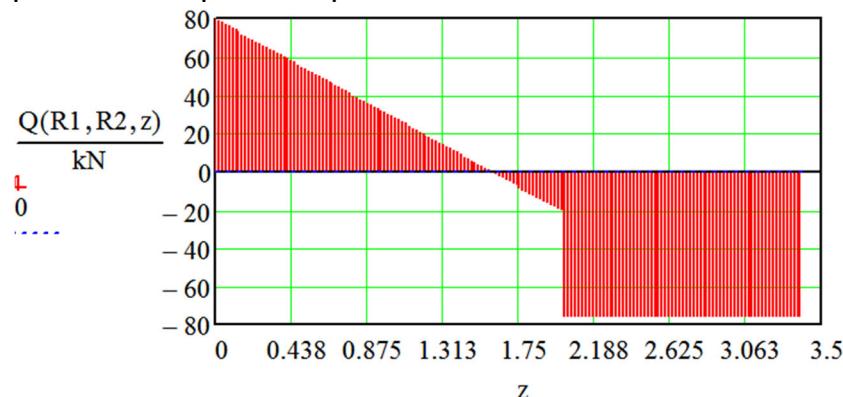
$$q := \begin{pmatrix} -50 \\ 0 \end{pmatrix} \frac{\text{kN}}{\text{m}} \quad a := \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \end{pmatrix} \text{m} \quad b := \begin{pmatrix} 2 \\ 0 \end{pmatrix} \text{m} \quad L := 3.4 \text{m} \quad l_1 := 0 \text{m} \quad l_2 := 3.4 \text{m}$$

3. Нахождение опорных реакций балки:

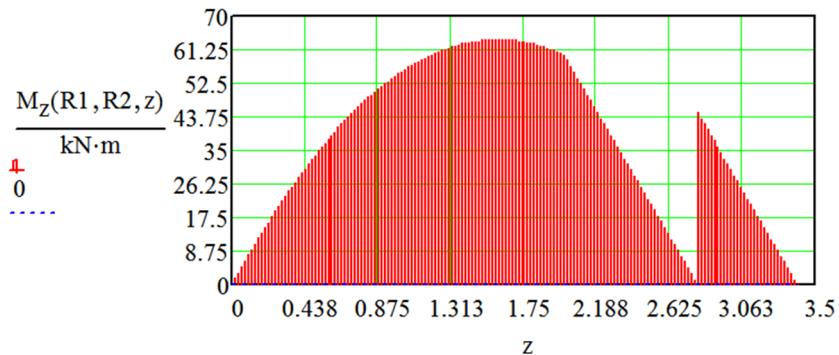
$$R2 := \frac{1}{(l_2 - l_1)} \left[\sum_{i=1}^{\text{rows}(M)} M_i - \sum_{i=1}^{\text{rows}(P)} [P_i \cdot (d_i - l_1)] - \sum_{i=1}^{\text{rows}(q)} \left[q_i \cdot b_i \cdot \left(a_i + \frac{b_i}{2} - l_1 \right) \right] \right] = 7.5 \times 10^4 \text{ N}$$

$$R1 := \frac{1}{(l_2 - l_1)} \left[- \sum_{i=1}^{\text{rows}(M)} M_i + \sum_{i=1}^{\text{rows}(P)} [P_i \cdot (d_i - l_2)] - \sum_{i=1}^{\text{rows}(q)} \left[q_i \cdot b_i \cdot \left(l_2 - a_i - \frac{b_i}{2} \right) \right] \right] = 8 \times 10^4 \text{ N}$$

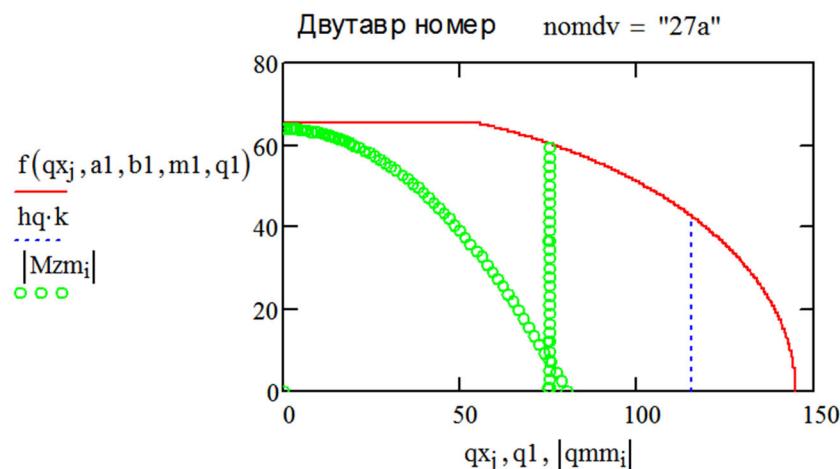
4. Построение эпюры поперечных сил:



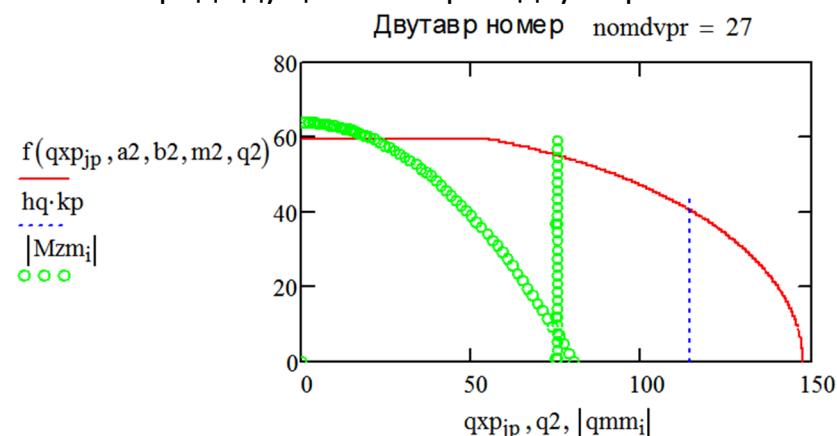
5. Построение эпюры изгибающих моментов:



6. Нахождение номера двутавра:



7. Сравнение с предыдущим номером двутавра:



Аналогичные расчёты проводились и применительно к консольным балкам. Их результаты, как и результаты приведенного примера, полностью подтверждены соответствующими традиционными ("ручными") расчётами.

Вывод. Разработаны в системе Mathcad и проиллюстрированы рядом примеров сквозные компьютерные программы расчётов на прочность статически определимых двухпорочных и консольных двутавровых балок. Эти программы базируются на ранее предложенной концепции использования безопасных факторных пространств двутавров, которая существенно упрощает и ускоряет процесс вычислений.

Выполненные разработки могут быть рекомендованы студентам и производственным специалистам для использования в учебных целях и инженерной практике.

Разработанные программы целесообразно дополнить возможностями определять деформации балок – прогибы и углы поворота сечений, что существенно расширит круг решаемых задач.

ЛІТЕРАТУРА

1. Писаренко Г. С. Опір матеріалів: Підр. для техн. ВНЗ / Г. С. Писаренко, О. Л. Квітка, Е. С. Уманський. – К.: Вища шк., 2004. – 655 с.
2. Калиновская Т.Г.Сопротивление материалов: Учеб. пособие / Т.Г.Калиновская, Н.А. Дроздова, А.Т.Рябова-Найдан. – Красноярск: Сиб. федер. ун., 2016. – 164 с.
3. Chakrabarti M. Strength Of Materials / M.Chakrabarti. S.K. Kataria&Sons, 2009. 1000 р.
4. Bansal R. K. A Textbook of Strength of Materials / R. K. Bansal. – Laxmi Publications, 2010. 1106 р.
5. Purushothama Rai. P. Strength of Materials / P.Rai. Purushothama, V.Ramasamy. Pearson India, 2012. 1039 р.
6. Кутовий Л. В. Збірник розрахунково-графічних завдань з курсу "Опір матеріалів" (для студентів всіх механічних спеціальностей dennої форми навчання) / Л. В. Кутовий [та ін.]. – Краматорськ: ДДМА, 2007. – 220 с.
7. Каюмов Р.А. Расчёт балки на прочность и жёсткость при прямом поперечном изгибе: Методические указания для выполнения расчёто-графического задания / Р.А. Каюмов, И.З. Мухамедова, Д.Е. Страхов. – Казань: КГАСУ, 2009. – 24 с.
8. Холодняк Ю.С. Совершенствование методики прочностного расчёта двутавровой балки и её изложения в курсах технических дисциплин / Ю.С. Холодняк, А.В. Периг, И.А. Матвеев // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. – Пермь: ПНИПУ, 2012. – С. 77-90.
9. Холодняк Ю. С. Развитие методологии прочностных расчетов двутавровых балок / Ю. С. Холодняк, А. В. Периг, С. В. Капорович // Научный Вестник ДГМА : Сборник научных трудов. – Краматорск: ДГМА, 2015. – № 2 (17E). – С. 103 –114.

УДК 004.925.8

ПРИМЕНЕНИЕ ТВЕРДОТЕЛЬНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ В AUTOCAD ДЛЯ ВИЗУАЛИЗАЦИИ ЛИНИИ ПЕРЕСЕЧЕНИЯ ПОВЕРХНОСТЕЙ

Т.С. Савельева¹, Д.С. Пустовой², Т.В. Демянник³

¹кандидат технических наук, доцент e-mail: savelievats@gmail.com

²кандидат технических наук, доцент, e-mail: pustovoi.d.s@gmail.com

³студент группы 132

^{1,2,3}студент, кафедра конструирования, технической эстетики и дизайна, Национальный технический университет «Днепровская политехника», г. Днепр, Украина

Аннотация. В работе представлены результаты использования графической системы AutoCAD для построения сложных линий пересечения поверхностей. Приведены примеры твердотельных моделей машиностроительных деталей сложной конфигурации.

Ключевые слова: *графические дисциплины, AutoCAD, пересечение поверхностей, твердотельная модель, визуализация.*

SOLID-STATE SIMULATION USAGE IN THE AUTOCAD FOR THE VISUALIZATION OF SURFACES INTERSECTION LINE

Tamara Savelieva¹, Dmytro Pustovoi², Tatyana Demyanik³

¹Ph.D., Associate Professor, e-mail: savelievats@gmail.com

²Ph.D., Associate Professor, e-mail: pustovoi.d.s@gmail.com

³ Student

^{1,2,3}Department of Engineering and Generative Design, Dnipro University of Technology, Dnipro, Ukraine

Abstract. The paper presents the results of using the AutoCAD graphics system to build complex lines of intersection of surfaces. Examples of solid models of engineering parts of complex configuration are given.

Keywords: *graphic disciplines, AutoCAD, intersection of surfaces, solid model, visualization.*

Введение. Основой проектирования, изготовления и эксплуатации машин и механизмов является изображение изделия на эскизах, технических рисунках, чертежах и схемах. Графические дисциплины — это одни из первых профессионально-ориентированных дисциплин, которым обучают студентов на начальных курсах. Существует проблема построения сложных линий пересечения поверхностей, которая до недавнего времени недостаточно рассматривалась в процессе преподавания дисциплин из-за своей трудоемкости.

Методика преподавания дисциплин «Начертательная геометрия» и «Инженерная графика», обучающих студентов выполнению и чтению чертежей, как любая наука, развивается, обогащается новыми современными методами. Использование современных информационных технологий позволяет сделать процесс обучения более доступным и быстрым.

Изучаемые дисциплины позволяют развивать пространственное представление и воображение, конструкторское мышление и осваивать современные методы выполнения чертежей и получение графических изображений с помощью компьютерных технологий. Эти дисциплины дают знания и умения, необходимые для специальной подготовки инженера при изучении теоретической механики, теории механизмов машин, деталей машин и других дисциплин машиностроительного направления [1].

Системы автоматизированного проектирования, такие, как AutoCAD и др., позволяют студентам расширить свои возможности в изучении графических дисциплин и освободить их от трудоемких, однотипных и скучных для них чертежных заданий. Ранние версии AutoCAD оперировали элементарными объектами, такими как круги, линии, дуги и т.п., из которых составлялись более сложные объекты. Однако на современном этапе редактор AutoCAD включает в себя полный набор средств, обеспечивающих комплексное трехмерное моделирование, в том числе создание и редактирование моделей тел и поверхностей. Система AutoCAD хотя и предназначена в первую очередь для двумерного рисования, но также она позволяет выполнять сложные трехмерные построения линий, поверхностей и тел, отображать их на разных видовых экранах с различных точек зрения.

Цель работы рассмотреть функциональные возможности графического редактора AutoCAD применительно к сложным задачам начертательной геометрии и инженерной графики при построении линий пересечения поверхностей.

Материал и результаты исследований. Большинство технических деталей являются пересечением различных геометрических форм – призм, параллелепипедов, поверхностей вращения и более сложных кривых поверхностей. При проектировании и выполнении изображений на проекционных чертежах необходимо строить линии пересечения поверхностей. Построение линий пересечения двух геометрических образов представляет собой самостоятельную задачу. Два многогранника пересекаются между собой по пространственным ломанным линиям, частным видом которых могут быть многоугольники. Поверхность вращения с многогранником пересекается по линиям, состоящим из участков плоских кривых. Две поверхности вращения пересекаются между собой по плоским или пространственным кривым линиям. Поставленную задачу можно решить классическими методами

начертательной геометрии, такими как метод вспомогательных плоскостей, метод концентрических сфер и метод эксцентрических сфер. Все эти методы заключаются в том, чтобы найти сначала пересечение исследуемых поверхностей со вспомогательными, а потом найти точки пересечения вспомогательных линий пересечений, лежащих во вспомогательной плоскости. Таким образом, процесс построения линий пересечения является трудоемким и занимает много времени. Автоматизация данной работы, в частности с использованием системы AutoCAD, решает эти проблемы.

В настоящее время основными методами геометрического моделирования трехмерных объектов средствами AutoCAD при выполнении машиностроительных чертежей являются методы каркасного моделирования, поверхностного моделирования и твердотельного моделирования.

Моделирование с помощью тел – это самый простой в использовании вид трехмерного моделирования. Средства AutoCAD по моделированию тел позволяют создавать трёхмерные объекты на основе базовых пространственных форм: параллелепипедов, конусов, цилиндров, сфер, клиньев и торов. Из этих форм путем их объединения, вычитания и пересечения строятся более сложные пространственные тела. Кроме того, тела можно строить, сдвигая плоский объект вдоль заданного вектора или вращая его вокруг оси [2].

В качестве простого примера рассмотрено построение линии пересечения поверхностей конуса и сферы в системе AutoCAD. Чтобы иметь представление о взаимном положении поверхностей, сначала построены две проекции проектируемой конструкции (рис.1).

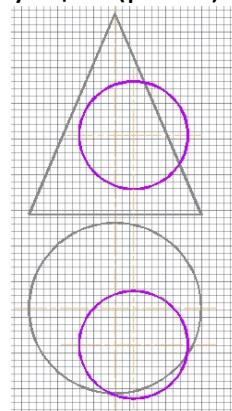


Рисунок 1– Пересекающиеся поверхности

Первым шагом при построении твердотельной модели переходим в рабочее пространство 3D моделирование,  3D моделирование, что бы открыть доступ к необходимым инструментам построения.

Создаем основной объект – конус, воспользовавшись базовым объектом  Конус с панели моделирования. Воспользовавшись управлением

видами, перейдём в «ЮЗ изометрию»  с панели видов и получаем изометрическое изображение конуса.

Для создания сферы, переместим пользовательскую систему координат ПСК  в точку расположения центра сферы. И создадим сферу базовым объектом  заданного размера (рис. 2).

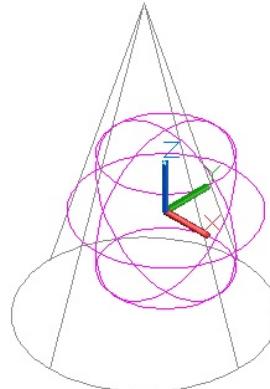


Рисунок 2 – Твердотельные поверхности конуса и сферы

Чтобы получить максимально правдоподобное изображение сконструированного объекта воспользуемся командой «Реалистичный» на панели визуальных стилей и преобразуем изображение в более наглядное (рис. 3а, б).

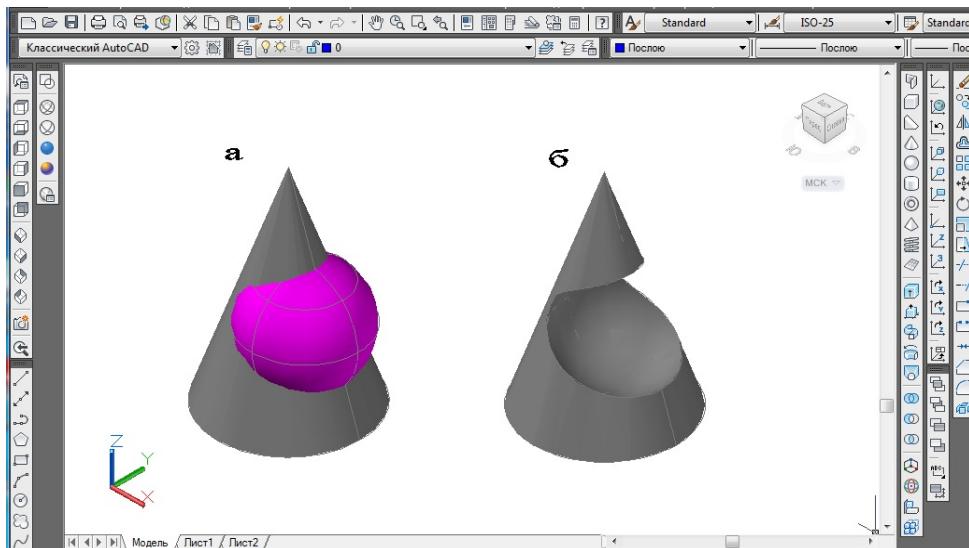


Рисунок 3 – Пересечения конуса и сферы

Чтобы наглядно показать линию пересечения, достаточно с помощью команды «Вычитание» на панели моделирования преобразовать пересечение поверхностей конуса и сферы в конус с сферическим отверстием (рис. 3б). Твердотельная модель готова.

Примером использования графической системы AutoCAD для выполнения чертежей машиностроительных деталей может служить создание моделей корпусных деталей с достаточно сложной конфигурацией и пересечением поверхностей (рис. 4).

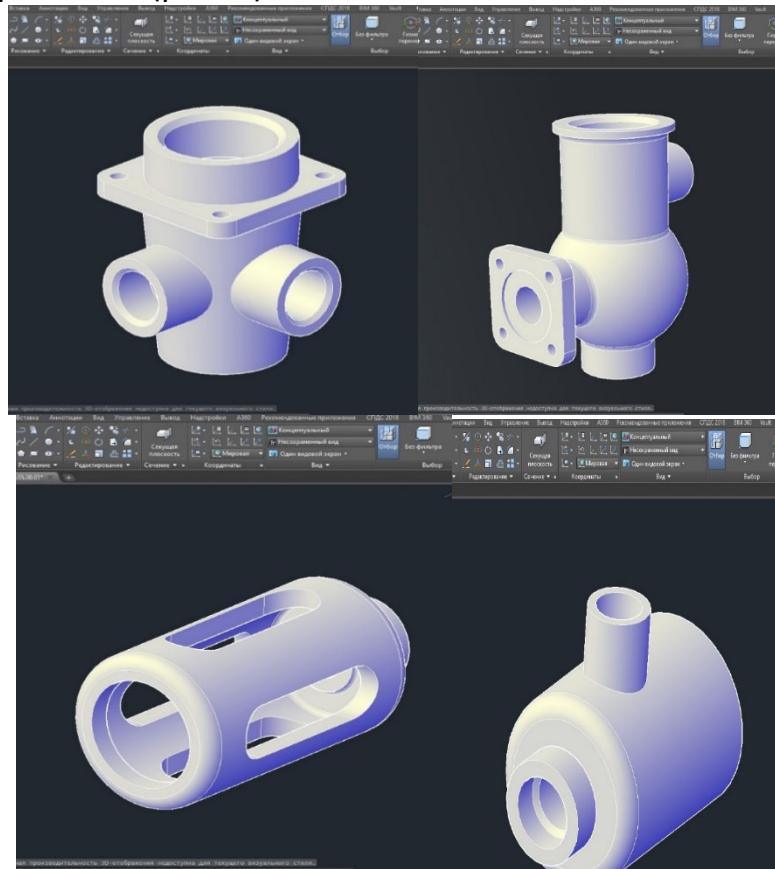


Рисунок 4 – Твердотельные модели машиностроительных деталей с пересекающимися поверхностями

В результате получаются очень наглядные 3D-модели изделий. Даные модели позволяют анализировать линии пересечения их поверхностей и получать в дальнейшем рабочие чертежи изделий, выполненные в соответствии со стандартами, по которым на предприятиях могут быть изготовлены сами изделия.

Вывод. По результатам работы можно сделать выводы, что представленная методика выполнения твердотельных моделей является простой и доступной для студентов младших курсов. Построенные 3D-модели с применением компьютерных технологий позволяют получить лучшую визуализацию созданных моделей. Методика не имеет ограничений при конструировании изделий с геометрической формой любой сложности. Кроме того,

преимуществом является автоматическое формирование чертежей, быстрота внесения изменений и корректировки моделей, что значительно сокращает время их выполнения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Аленин Е.Е. Методы пространственного геометрического моделирования и их применение на практике. / Е.Е. Аленин // Актуальные проблемы строительства, ЖКХ и техносферной безопасности. Материалы IV Всероссийской науч.-технич. конф. молодых исследователей, Волгоград, 24-29 апреля 2017 г., 296-299 с.
http://www.ng.sibstrin.ru/html/005/2017/sb_volgograd.pdf.
2. Отачкин Р.Е. 3d моделирование линии пересечения поверхностей на базе графической программы autocad 2018 / Р.Е. Отачкин, О.Н. Мороз // Научное сообщество студентов: Междисциплинарные исследования: сб. ст. по мат. XXXIX междунар. студ. науч.-практ. конф. № 3(39), Новосибирск, АНС «СибАК», 2018 г., 39-46 с.
[https://sibac.info/archive/meghdis/4\(39\).pdf](https://sibac.info/archive/meghdis/4(39).pdf).

УДК 378:004.9

ИНТЕНСИВНАЯ ПОДГОТОВКА СТУДЕНТОВ НА ПЕРВОМ КУРСЕ ПО ИНЖЕНЕРНОЙ ГРАФИКЕ

В.А. Токарев

кандидат технических наук, доцент кафедры графики, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Рыбинский государственный авиационный технический университет имени П.А. Соловьева", г. Рыбинск, Россия, e-mail: tokarev@rsatu.ru

Аннотация. Рассмотрены особенности параллельного оперативного обучения на первом курсе графическим дисциплинам при оптимизации интенсивного обучения студентов технических специальностей.

Ключевые слова: дисциплины графического цикла, профессиональная подготовка, методы графических построений.

INTENSE TRAINING OF STUDENTS AT THE FIRST YEAR ACCORDING TO ENGINEERING GRAPHICS

Vladimir Tokarev

Ph.D., associate Professor of the department of graphics, Soloviev Rybinsk State Aviation Technical University, Rybinsk, Russia, e-mail: tokarev@rsatu.ru

Abstract. Features of parallel expeditious training at the first year in graphic disciplines are considered by optimization of intensive training of students of technical specialties.

Keywords: disciplines of a graphic cycle, vocational training, methods of graphic constructions.

Введение. При работе с графической информацией на производстве и в научных исследованиях очень часто требуется комплексное применение различных способов создания и представления этой информации. В связи с этим при освоении графических дисциплин и компьютерных программ на кафедре графики Рыбинского государственного авиационного технического университета имени П.А. Соловьева (РГАТУ) для оптимизации графической подготовки и получения необходимых профессиональных компетенций студенты используют одновременно как "ручные" карандашные, так и различные растровые и векторные компьютерные методики работы с графикой во время аудиторных и внеаудиторных занятий.

Графическое образование студентов ряда специальностей начинается в РГАТУ с освоения в первом семестре на кафедре графики дисциплин "Начертательная геометрия", "Инженерная и компьютерная графика", "Графические редакторы". В этом случае дисциплины графического цикла изучаются обычно параллельно для всех форм обучения в РГАТУ: дневной, вечерней и заочной. Такая оперативная графическая подготовка студентов технических специальностей является основой для выбора учащимися необходимого информационного обеспечения при выполнении последующих графических заданий, в частности, аналогичных представленным в работах [1, 2], выполняемых на кафедре "Основы конструирования механизмов и машин". Необходимым элементом такого оперативного комплексного обучения является применение известных современных интерактивных средств, сетевых ресурсов и форм участия студентов в учебном процессе [3, 4].

Цель работы. Раскрыть структуру и показать основные этапы рабочего учебного плана комплексной параллельной технологии обучения графическим дисциплинам "Начертательная геометрия", "Инженерная и компьютерная графика", "Графические редакторы" в первом семестре.

Материал и результаты исследований. Основная цель изучения дисциплины «Начертательная геометрия» состоит в том, чтобы развить у студентов пространственное воображение реальных объектов на основе двухмерных изображений на плоскости и одновременно научить студентов решать позиционные и метрические задачи. Наряду с использованием традиционных методов решения задач начертательной геометрии с использованием чертёжных инструментов, параллельно в рамках дисциплин "Инженерная и компьютерная графика" и "Графические редакторы" для решения

сходных задач применяются методы инженерной графики и геометрические инструменты прикладных компьютерных программ. В частности, при построении студентами пирамиды, поверхностей вращения и других поверхностей в дисциплине "Начертательная геометрия" параллельно строятся электронные модели и компьютерные изображения тел, ограниченных различными поверхностями в дисциплине "Инженерная и компьютерная графика" с применением программ, изучаемых в дисциплине "Графические редакторы".

В первом практическом задании «Правильная пирамида с вырезом» в дисциплине "Инженерная и компьютерная графика" изучаются основы разработки электронных геометрических моделей, построения видов, простых разрезов, аксонометрии, нанесения номинальных значений размеров в чертежах (рисунок 1). При разработке трёхмерной модели в данном случае изучаются построения по сечениям по направляющей и с помощью операции выдавливания. Задание для разных вариантов составлено в табличной форме с варьированием типов базовых многоугольников, их размеров и ориентаций.

На втором практическом задании «Тела, ограниченные поверхностями вращения: конической, сферической, цилиндрической» основной акцент сделан на изучении команд графических редакторов "Вращение", а также на построении сечения и совмещении половины вида и половины разреза (рисунок 2). Графическая часть задания составлена в параметрическом виде с табличной формой представления конкретных значений параметров по вариантам (таблица 1). При этом табличная форма задания по мнению автора обладает основными существенными преимуществами: компактность и удобство пользования заданием, а также оперативность изменения таблицы параметров.

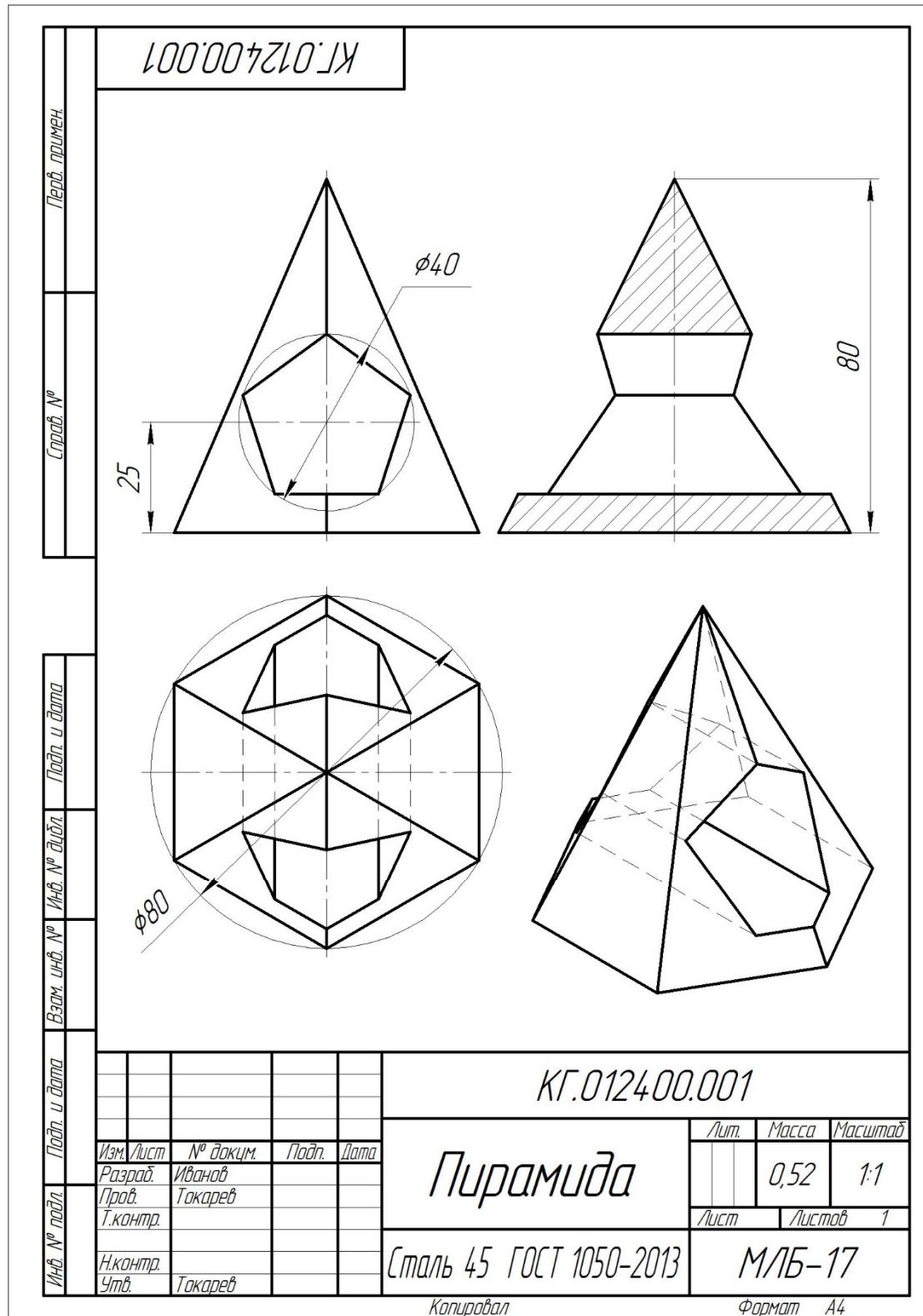


Рисунок 1 – Элемент выполненного задания «Правильная пирамида с вырезом»

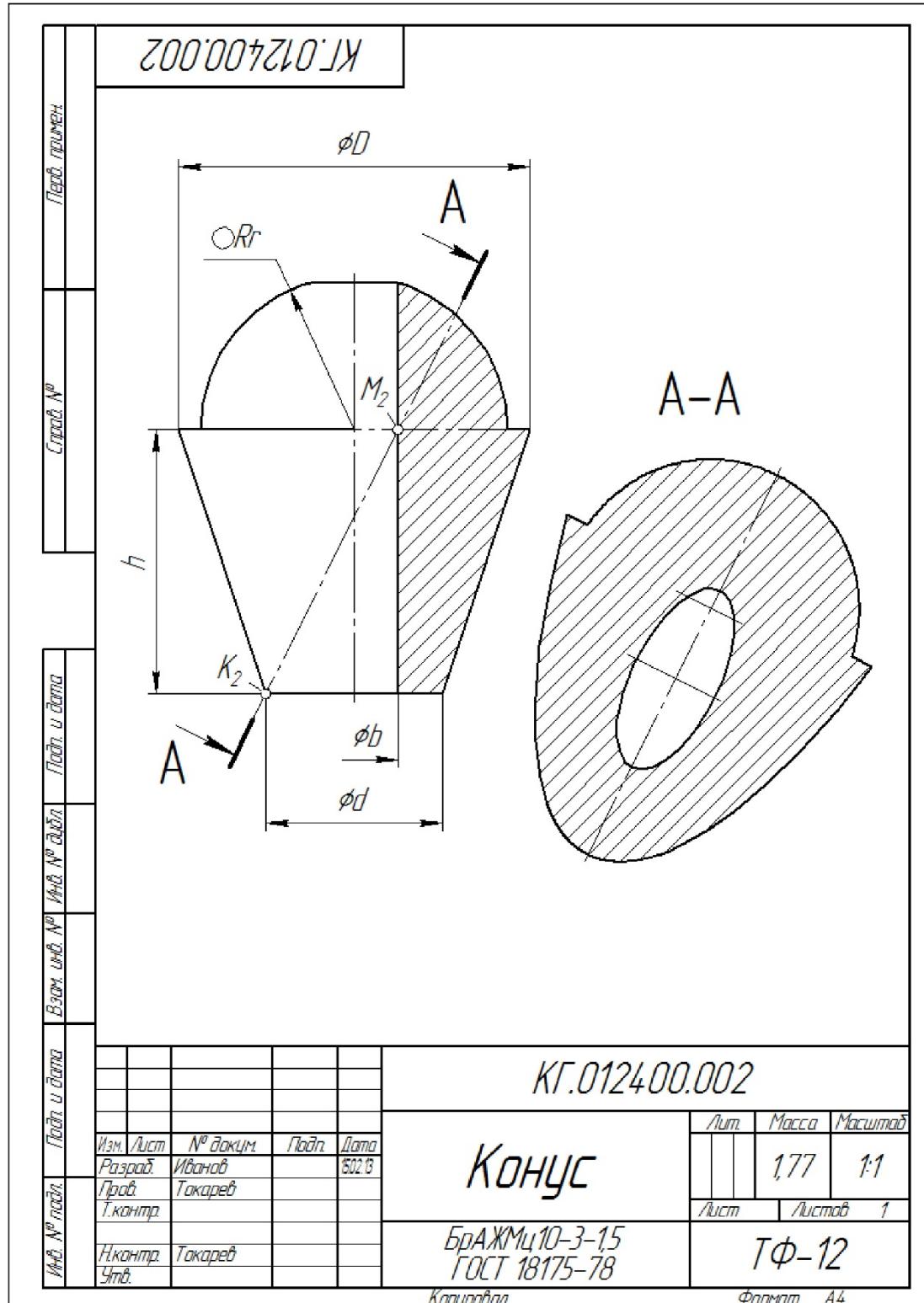


Рисунок 2 – Элемент задания «Тела, ограниченные поверхностями вращения: конической, сферической, цилиндрической»

Таблица 1 – Значения по вариантам геометрических параметров задания «Тела, ограниченные поверхностями вращения: конической, сферической, цилиндрической»

Вариант	D	d	h	r	b
1	70	20	50	35	20
2	80	30	60	35	20
3	90	40	70	35	20
4	70	20	70	35	20
5	80	30	60	35	20
6	90	40	50	35	20
7	70	20	50	30	20
8	80	30	50	35	20
9	90	40	50	30	20
10	70	20	60	35	20
11	80	30	70	35	20
12	90	40	60	35	20
13	70	20	50	30	20
14	70	20	50	35	15
15	80	30	60	35	25
16	90	40	70	35	25
17	70	20	70	35	20
18	80	30	60	35	25
19	90	40	50	35	25
20	70	20	50	30	15
21	80	30	50	35	25
22	90	40	50	30	25
23	70	20	60	35	15
24	80	40	60	35	20

Задания в основном применяются в электронном виде. Кроме этого к ним разработаны дополнительно видео уроки. В видео уроках представлена запись последовательности действий при выполнении модели и чертежа. Применение таких видеозаписей целесообразно при самостоятельном изучении материала, на практических занятиях в группах с разным

уровнем подготовкой учащихся и в качестве элемента дистанционного обучения.

Дисциплина "Инженерная и компьютерная графика" включает также изучение способов построения моделей и чертежей деталей различного типа и заканчивается практическим выполнением комплекта конструкторских документов, включающих электронную геометрическую модель сборочной единицы (рисунок 3), чертеж общего вида с таблицей составных частей (рисунок 4), спецификации, сборочного чертёжа и учебных чертежей нескольких деталей изделия с простановкой номинальных значений размеров (рисунок 5). В состав исходного материала для задания входит чертёж общего вида и (или) модель изделия, аналогичного разрабатываемому студентом изделию. Аналог назначается преподавателем или согласуется студентом с преподавателем в зависимости от производственных интересов студента. В данном случае основой для разработки послужило известное аналогичное изделие интерактивного учебника системы КОМПАС-3D.

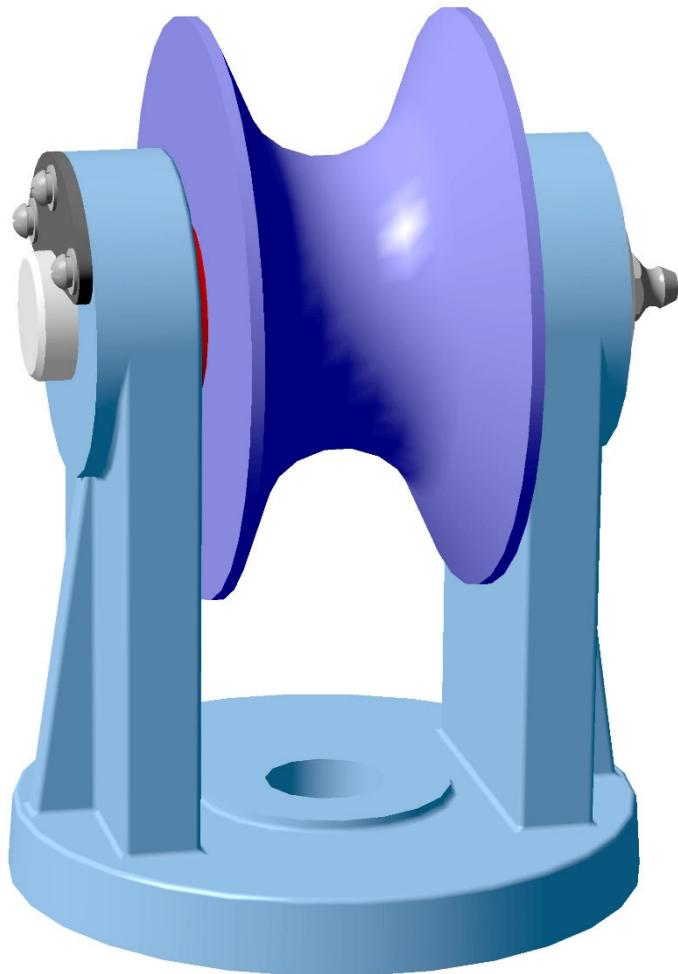


Рисунок 3 – Пример элемента выполненного задания «Комплект конструкторских документов»

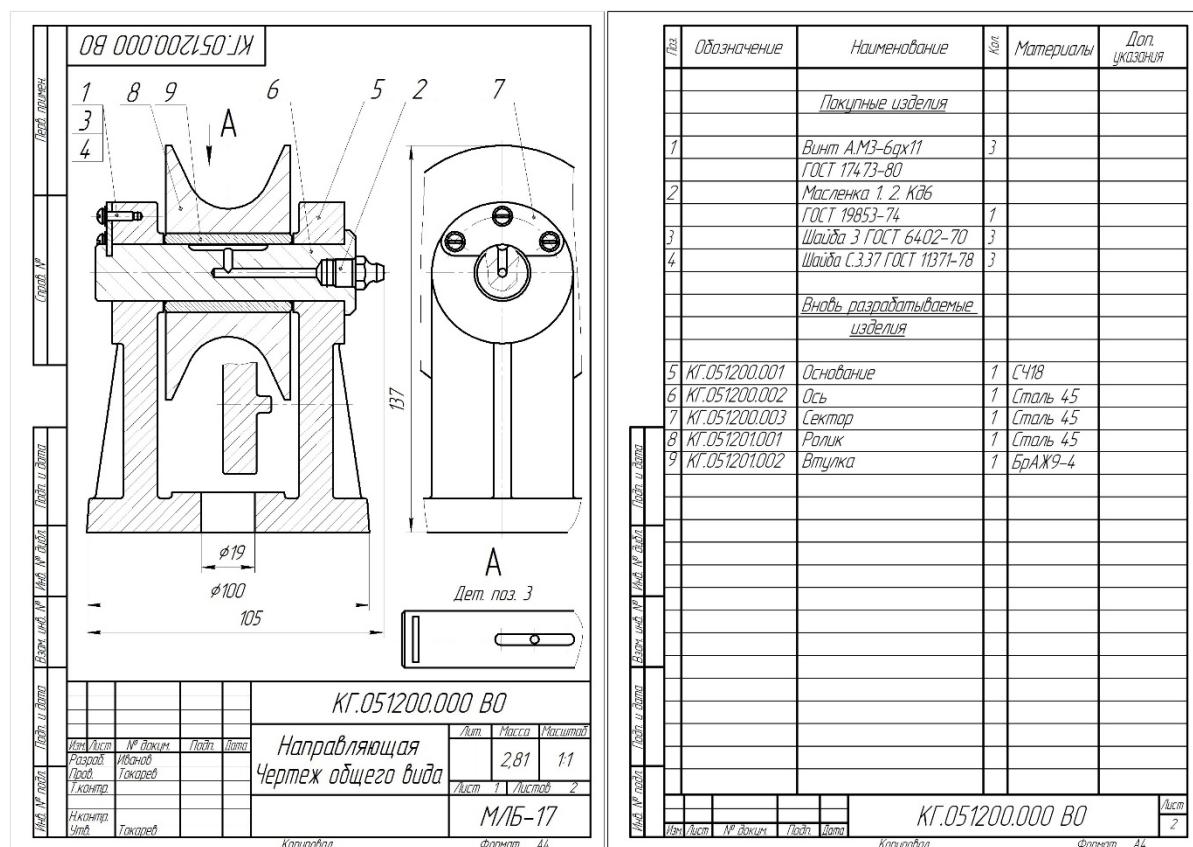


Рисунок 4 – Чертёж общего вида

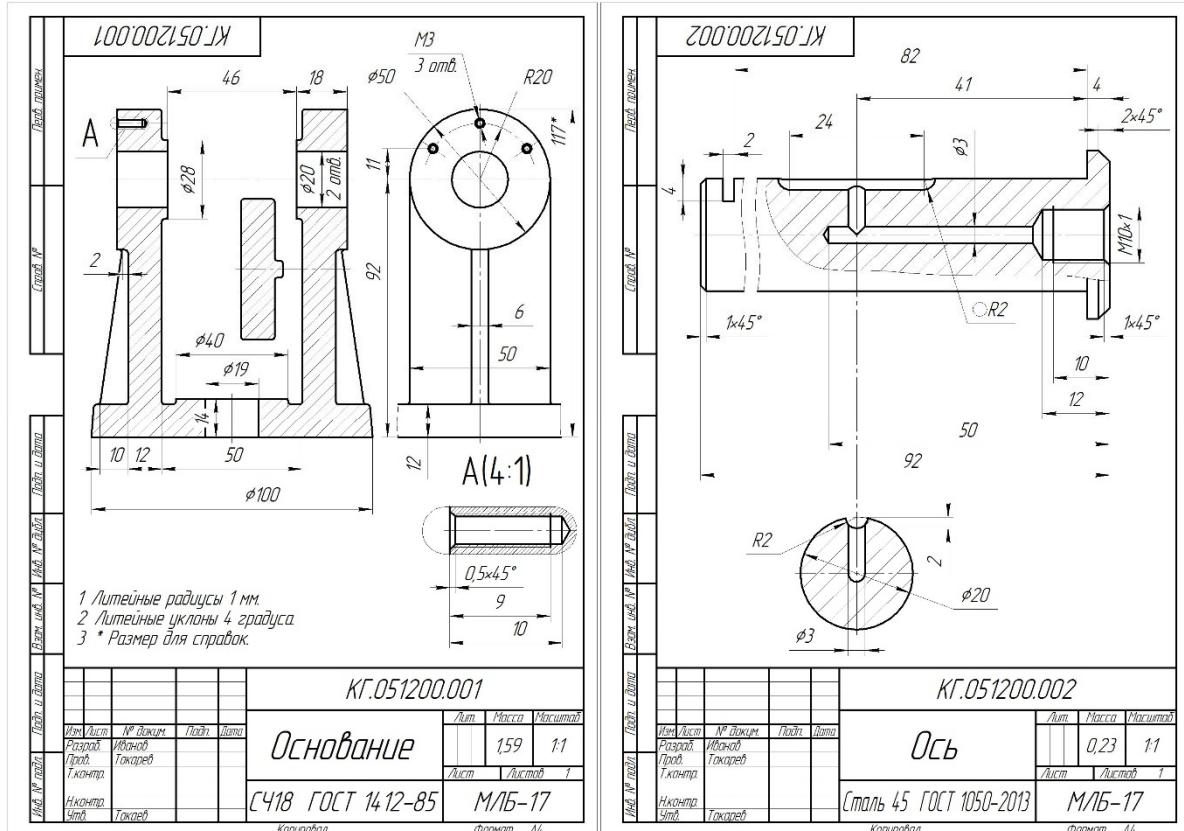


Рисунок 5 – Чертежи деталей в учебном исполнении

Вывод. Комплексное параллельное освоение нескольких графических дисциплин, а также применение различных графических методов и инновационных технологий способствует оптимизации процесса оперативной графической подготовки студентов технических специальностей.

ЛИТЕРАТУРА

1. Твердохліб О.М. Порівняльний аналіз конструювання деталей машин у програмних середовищах Компас-3D та Inventor / О.М. Твердохліб, І.В. Вернер, О.М. Теліпко // Сборник научных трудов международной конференции «Современные инновационные технологии подготовки инженерных кадров для горной промышленности и транспорта 2019». – Днепр: НТУ «ДП», 2019. – С. 277 – 282.

2. Балашов С.В., Нікітюк Д., Горохова А.Р. Сучасні засоби Autodesk при проектуванні деталей машин / С.В. Балашов, Д. Нікітюк, А.Р. Горохова // Сборник научных трудов международной конференции «Современные инновационные технологии подготовки инженерных кадров для горной промышленности и транспорта 2019». – Днепр: НТУ «ДП», 2019. – С. 158 – 161.

3. Шевелев Ю.П. Эффективность комплексного применения в профессиональной подготовке специалистов различных типов графических программ при разработке геометрических моделей / Ю.П. Шевелев, В.А. Токарев // Геометрия и графика. М.: ИНФРА-М. 2013. V. 1. I. 3 – 4. – С. 40 – 43. DOI: 10.12737/2132.

4. Токарев В.А. Разработка моделей транспорта и средств переработки сырья для спутников планет в рамках инженерного образования / В.А. Токарев, И.И. Грабовский // Сборник научных трудов международной конференции «Современные инновационные технологии подготовки инженерных кадров для горной промышленности и транспорта 2018». – Днепр: НГУ, 2018. – С. 315 – 322.

УДК 331.101

РОЗРОБКА НАВЧАЛЬНОЇ ПРОГРАМИ ДЛЯ ЕРГОНОМІЧНОГО АНАЛІЗУ УМОВ ПРАЦІ

С.І. Чеберячко¹, О.В. Дерюгін², О.О. Третяк³

¹доктор технічних наук, професор кафедри охорони праці та цивільної безпеки, Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», м. Дніпро, Україна, e-mail: sicheb@ukr.net

²кандидат технічних наук, доцент кафедри управління на транспорті, Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», м. Дніпро, Україна, e-mail: oleg.kot@meta.ua

³кандидат технічних наук, доцент кафедри управління на транспорті, Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», м. Дніпро, Україна, e-mail: lenusia3366@gmail.com

Анотація. В роботі запропоновано кейс для розвитку у майбутнього фахівця з охорони праці комплектності системного творчого мислення, наполегливість у досягненні мети професійної та науково-дослідницької діяльності через вирішення низки взаємопов'язаних задач з аналізу робочих поз, встановлення ергономічних ризиків та ймовірності травмування, визначення витрат на придбання різноманітного обладнання, яке дозволяє зменшити травматизм чи захворювання опорно-рухового апарату та збільшити продуктивність праці та обґрунтувати доцільність його придбання порівнявши зі збитками на лікування і реабілітацію працівників. Такий підхід формує у студента образне мислення, вміння приймати відповідні обґрунтовані рішення. Виробити ефективну інформаційну систему супроводу процесів на всіх етапах управління навчальним процесом та забезпечить оперативний контроль параметрів навчального процесу, в якості яких виступає рівень оволодіння компетентностями і адекватно реагувати на їх відхилення від запланованих значень.

Ключові слова: ергономічний ризик, виробничі небезпеки, безпечна праця, ремонт автомобіля, метод "REBA".

DEVELOPING A TRAINING PROGRAM FOR ERGONOMIC ANALYSIS OF WORKING CONDITIONS

Serhiy Cheberyachko¹, Oleg Deryugin², Olena Tretyak³

¹Ph.D., Professor of Department of Labour Protection and Civil Safety, Dnipro University of Technology, Dnipro, Ukraine; e-mail: sicheb@ukr.net

²Ph.D., Associate professor of Department of Transportation Management, Dnipro University of Technology, Dnipro, Ukraine, e-mail: oleg.kot@meta.ua

³Ph.D., Associate professor of Department of Transportation Management, Dnipro University of Technology, Dnipro, Ukraine, e-mail: lenusia3366@gmail.com

Abstract. The paper proposes a case for the development of the future specialist for the protection of the complexity of systemic creative thinking, perseverance in achieving the goal of professional and research activities by solving a number of interrelated problems in the analysis of working postures, establishing ergonomic risks and identity trauma, determining the cost of purchasing a variety of equipment that can help reduce injuries or diseases of the musculoskeletal system and increase productivity and substantiate the feasibility of yoga. with a loss of purchasing comparing the treatment and rehabilitation of workers. This approach shapes the student's imaginative thinking, ability to make informed decisions. To develop an effective information system of process support at all stages of management of the educational process and to provide operational control of the parameters of the educational process, in which the level of mastery of competencies acts and to adequately respond to their deviation from the planned values.

Keywords: ergonomic risk, industrial hazards, safe work, car repair, "REBA" method.

Вступ. За даними Міжнародної асоціації ергономіки (MEA) розробка програм, які дозволяють оцінити вплив статичних та динамічних параметрів

виробничого середовища на здоров'я та працездатність людини, через оцінку впливу на анатомічні, антропометричні, фізіологічні, психологічні та біомеханічні їх характеристики представляє значний інтерес для багатьох промислових галузей у світі [1]. Важливою є оцінка робочих поз, ритму, темпу, тривалості, інтенсивності роботи, яка спрямована на запобігання виникнення травм опорно-рухового апарату. Ці травми є одними з найпоширеніших у світі, які призводять до величезних фінансових витрат для суспільства. Одним із шляхів зменшення їх кількості є профілактика, яка спрямована перш за все на виявлення потенційно небезпечних ергономічних робочих ситуацій на ранній стадії та економічне обґрунтування доцільності запровадження безпечних ергономічних систем. Для цього процесу (ідентифікації, класифікації небезпек, оцінки ризику, обґрунтування доцільності витрат) важно обґрунтувати витрати на закупівлю ергономічного обладнання за формулою [2]:

$$F = \left[B_i(R_{ep}) + Z_i(R_{ep}) \right] \rightarrow \min, \quad (1)$$

де R_{ep} – інтегральний показник ймовірності травмування;

$B_i(R_{ep})$ – витрати (вартість) на реалізацію ергономічного обладнання;

$Z_i(R_{ep})$ – витрати на захворювання/травми опорно-рухового апарату.

Це потребує відповідної фахової підготовки, яка б надавала майбутнім спеціалістам широкі знання з системного аналізу, методів оцінки умов праці, виробничого середовища, характеристик сучасних технічних систем, психофізіологічних та біомеханічних особливостей людини, захворювання опорно-рухового апарату. Зауважмо, сама оцінка ергономічних ризиків для зменшення кількості професійних захворювань досить складна, через неоднозначність/неоднорідність виробничих умов і потребує вміння модернізувати відомі методологічні підходи.

Дисципліна ергономіка викладається у багатьох університетах світу та є однією з головних складових різноманітних освітніх програм. Зокрема, безпека та гігієна праці, прикладна механіка, автомобілі, автомобільне господарство, транспортні технології, гірництво та інші [3]. До основних тем, які обов'язково повинні бути висвітлені відносять: критерії людино-машинних систем, організація робочого місця, психофізіологічні та біомеханічні характеристики людини, види ергономічних травм, методи оцінки ергономічних ризиків та інше [4]. Найбільше в сучасних програмах приділяється уваги до вивчення характерних ознак і розвитку захворювань опорно-рухового апарату, методів оцінки ергономічного ризику та практичних підходів до вдосконалення робочих місць та підвищення комфорту. Освітні заходи включають традиційні підходи: лекції, презентації, електронні плакати/листи; часто використовують активні методи – о дискусії, вирішення практичних завдань, інформаційні буклети. Однак проведенні

дослідження з оцінки ефективності методів викладання підтверджують недостатність надання тільки базових знань, важливо сформувати вміння користуватись інструментами для покращення організації робочого місця та забезпечити необхідним обладнанням для реалізації запропонованих рішень [5]. Як приклад, у роботі відмічена ефективність навчання за новітнім підходом на основі спеціально розробленої програми, що дозволяє імітувати різні втручання в у виробничий процес у порівняні з традиційним викладанням ергономіки.

Мета роботи.

Метою є розробка програм, які дозволяють обґрунтувати рішення придбання ергономічного обладнання (на прикладі виконання технологічного процесу ремонту автомобіля працівником автосервісу).

Матеріали і результати дослідження.

Для вирішення оптимізаційної задачі з організації безпечної системи праці з пошуку мінімуму функціоналу (1) припустимо, що витрати підприємства на придбання безпечних ергономічних систем безпечної праці залежать від ймовірності захворювання, яка представлена у вигляді:

$$B(R) = B_0 \exp[k \cdot (1 - R)], \quad (2)$$

де B_0 – витрати на підприємстві для забезпечення ергономічних умов праці при забезпеченні максимально можливого значення показника безпеки R_{max} .

Інтегральний показник ймовірності захворювання визначимо відповідно до величини ергономічного ризику за кожною технологічною операцією за формулою [6]:

$$R_{EP} = 1 - \prod_{i=1}^n P_i, \quad (3)$$

де P_i - рівень ергономічного ризику травмування при виконанні i -ої технологічної операції [6]:

$$S_{EP} = \frac{(x_{max} + 1) - x_i}{x_{max}}, \quad (4)$$

де x_{max} – максимальна бальна оцінка, яка визначається за результатами обробки розташування працівників на робочому місці рf методом "REBA";

x_i – бальна оцінка ергономічного ризику, яка визначена за методом "REBA" за відповідною операцією технологічного процесу.

В залежності від типу небажаної події підприємство понесе певні фінансові збитки, які регламентовані нормативними актами і пов'язані з неможливістю працівника виконувати виробничу діяльність в наслідок часткової або повної втрати працездатності, та відшкодування на лікування, реабілітацію, або на оздоровлення працівника.

Розмір вказаних збитків, виходячи з ймовірності її виникнення і величини ризику можна розрахувати за формuloю [7]:

$$Z(R_{EP}) = R_{EP} \cdot T_3 \cdot (O_n + b), \quad (5)$$

де O_n – середня оплата листків непрацездатності за день (станом на 2019 р 1834,59 грн.) [8];

T_3 – кількість днів непрацездатності; b – середньоденний виробіток одного працюючого (1972 грн.) [8].

З урахуванням випадкового характеру експлуатаційних процесів сумарна вартість всіх витрат, які пов'язані з досягненням прийнятної ймовірності травмування при виконанні виробничих завдань дорівнює:

$$F = B_0 \exp[k \cdot (1 - R_{EP})] + R_{EP} \cdot T_3 \cdot (O_n + b) \rightarrow \min, \quad (6)$$

Для визначення мінімуму отриманої функції необхідно взяти похідну від виразу (6) і вирішити рівняння:

$$\frac{\partial F(R_{EP})}{\partial R_{EP}} = 0, \quad (7)$$

після диференціювання виразу (6) отримуємо наступне рішення:

$$F = \frac{1}{k} \exp[k \cdot (1 - R_{EP})] + k + 2R_{EP} \cdot (O_n + b), \quad (8)$$

Даний підхід передбачає вирішення поставленої задачі у додатку Microsoft Office – Excel-2010.

Величину ергономічного ризику за кожною технологічною операцією визначали за допомогою методу "REBA" (*Rapid Entire Body Assessment worksheet*), (рис. 1) [9]. Він представляє собою спеціальний чек-лист, який розділений на дві частини "А" і "Б". До частини "А" відноситься оцінка незручності розташування тулубу, шиї та ніг працівника. Частина "Б" присвячена дослідженню несприятливому розташуванню плечей, ліктів та зап'ястя. Визначення бальних оцінок вказаних поз проводять, виходячи із аналізу фотознімків положення тулуба працівника на яких попередньо наносять структурну схему фіксації частин тулубу і кутів.

REBA Employee Assessment Worksheet

Based on Technical note: Rapid Entire Body Assessment (REBA), Hignett, McAtamney, Applied Ergonomics 31 (2000) 203-205

Бали												
		Шия										
		1	2	3								
Таблиця «А»		1	2	3								
Ноги		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3
Розташування тулула		1	2	3	4	1	2	3	4	3	5	6
Оцінка положення ший		1	2	3	4	1	2	3	4	3	5	6
Коригування:		+1	+2	+2	+2	+1	+2	+2	+2	+3	+3	+3
Крок 1. Аналіз положення ший, тулула, ніг												
Оцінка положення тулула		+1	+2	+3	+4	+1	+2	+3	+4	+3	+4	+4
Коригування:		- Якщо шия скрученій: +1	- Якщо тулуп нахилено у бік: +1			- відведення вперед: +1	- відведення назад: +2	- відведення вперед: +2	- відведення назад: +3	- відведення вперед: +3	- відведення назад: +4	- відведення вперед: +4
Крок 2. Аналіз положення тулула		+1	+2	+3	+4	+1	+2	+3	+4	+3	+4	+4
Оцінка положення ніг		+1	+2	+3	+4	+1	+2	+3	+4	+3	+4	+4
Коригування:		- Якщо тулуп скрученій: +1	- Якщо тулуп нахилено у бік: +1			- Якщо плече підняте: +1	- Якщо людина робить нахили: +1	- Якщо плече відведенено назад: +1				
Крок 3. Аналіз положення ніг		+1	+2	+3	+4	+1	+2	+3	+4	+3	+4	+4
Оцінка положення зап'ястя		+1	+2	+3	+4	+1	+2	+3	+4	+3	+4	+4
Плече		1	2	3	4	1	2	3	4	3	5	6
Оцінка положення передпліччя		+1	+2	+3	+4	+1	+2	+3	+4	+3	+4	+4
Крок 4. Звернення до таблиці А		+1	+2	+3	+4	+1	+2	+3	+4	+3	+4	+4
Оцінка з таблиці А		+1	+2	+3	+4	+1	+2	+3	+4	+3	+4	+4
Оцінка зусилля/навантаження		+1	+2	+3	+4	+1	+2	+3	+4	+3	+4	+4
Значення оцінки «А»		+1	+2	+3	+4	+1	+2	+3	+4	+3	+4	+4
Крок 5. Зусилля навантаження		+1	+2	+3	+4	+1	+2	+3	+4	+3	+4	+4
Крок 6. Отримання оцінки «А»		+1	+2	+3	+4	+1	+2	+3	+4	+3	+4	+4
Інтерпретація отриманого результату:		+1 - ризик відсутній;	+2-3 - мінімальний ризик (потребі незначні зміни);	+4-7 - середній ризик (потребі уドосконалення технологій);	+8-10 - високий ризик роботу виконувача не можна, потребі кардинальні зміни;	+11 - непропустимий ризик (роботи заборонено)						
Крок 7. Аналіз положення плеча		+1	+2	+3	+4	+1	+2	+3	+4	+3	+4	+4
Оцінка положення плеча		+1	+2	+3	+4	+1	+2	+3	+4	+3	+4	+4
Крок 8. Аналіз положення передпліччя		+1	+2	+3	+4	+1	+2	+3	+4	+3	+4	+4
Оцінка положення передпліччя		+1	+2	+3	+4	+1	+2	+3	+4	+3	+4	+4
Крок 9. Аналіз положення зап'ястя		+1	+2	+3	+4	+1	+2	+3	+4	+3	+4	+4
Оцінка положення зап'ястя		+1	+2	+3	+4	+1	+2	+3	+4	+3	+4	+4
Крок 10. Звернення до таблиці В		+1	+2	+3	+4	+1	+2	+3	+4	+3	+4	+4
Оцінка з Таблиці В		+1	+2	+3	+4	+1	+2	+3	+4	+3	+4	+4
Крок 11. Оцінка поверхні захвачуваної інструменту:		+1	+2	+3	+4	+1	+2	+3	+4	+3	+4	+4
Оцінка поверхні захвачуваної інструменту		+1	+2	+3	+4	+1	+2	+3	+4	+3	+4	+4
Крок 12. Отримання оцінки «В»		+1	+2	+3	+4	+1	+2	+3	+4	+3	+4	+4
Крок 13. Оцінка активності		+1	+2	+3	+4	+1	+2	+3	+4	+3	+4	+4
Крок 14. Звернення до таблиці «С»		+1	+2	+3	+4	+1	+2	+3	+4	+3	+4	+4

Рис. 1. - Загальний вигляд технологічної карти визначення ергономічного ризику при виконанні виробничої діяльності за методом "REBA"

Для прикладу, розглянемо операції шиномонтажу. Вихідними даними для розрахунків декілька фотографій, які характерні операціям: зривання гайок, підйом автомобіля домкратом, заміна колеса (рис. 2). Студент повинен нанести на фотографії лінії з розмітки поз для визначення кутів нахилу тулула, та за допомогою електронної таблиці визначити показник ризику. Одержані результати заносяться у таблицю 1.

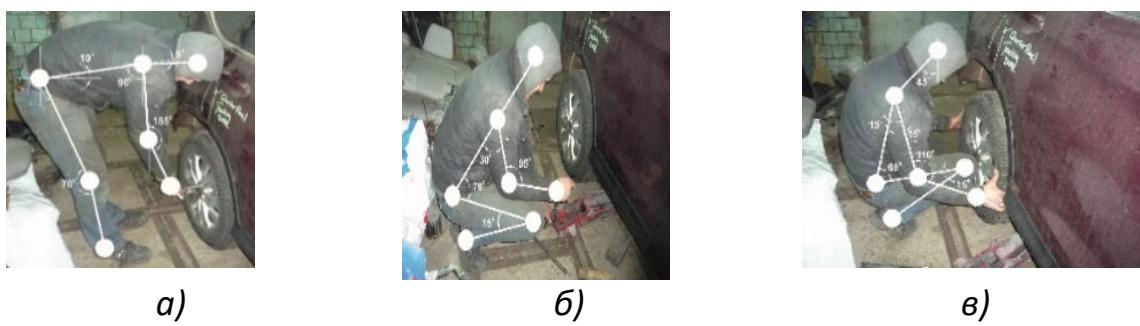


Рис. 2. - Фотографії з виконання технологічних операцій шиномонтажу: зривання (затягування) гайок (а), Установка (зняття) домкрату і підйом (опускання) автомобіля (б), Зняття (установка)колеса (в)

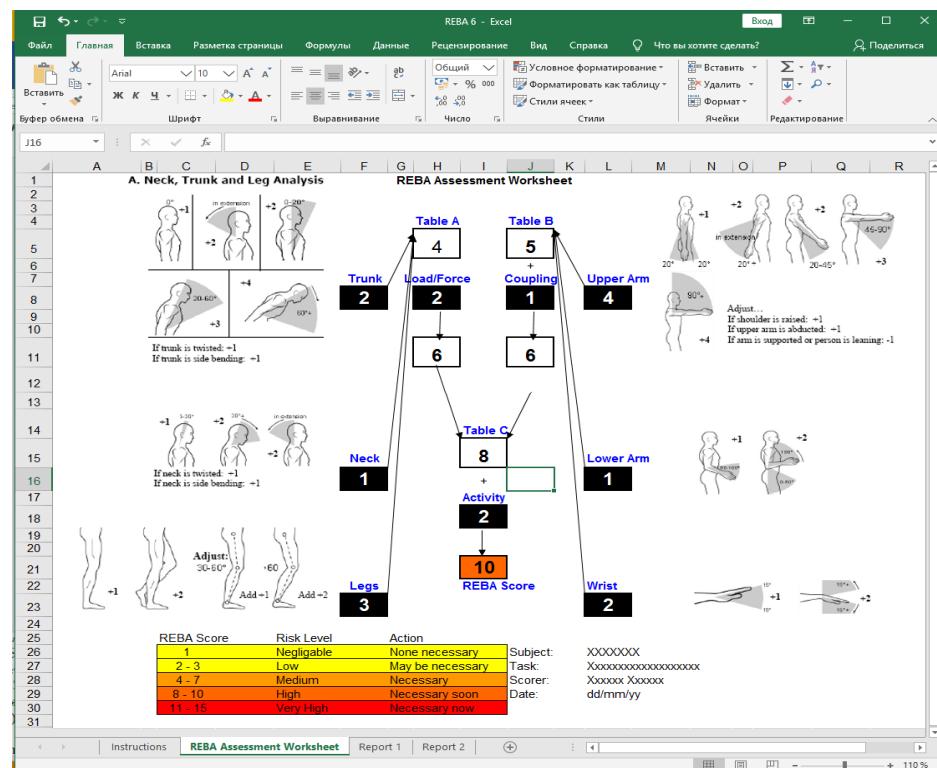


Рис. 3. - Приклад розрахунку загальної величини ергономічного ризику при виконанні технологічної операції відкручування гайок

Таблиця 1 - Розрахунок ймовірності захворювання

№ п/п	Сутність технологічного процесу	Результат, отриманий за методом "REBA"	Загальна величина ймовірності захворювання
1.	Зривання (затягування) гайок	10	0,833
2.	Установка (зняття) домкрата і підйом (опускання) автомобіля	5	0,333
3.	Зняття (установка) колеса	12	0,917

Наступним кроком, виходячи з ймовірності захворювання, середньої оплати листків непрацездатності за день, середньоденного заробітку одного працюючого визначаються ймовірні збитки підприємства за електронним калькулятором (рис. 4). Калькулятор дозволяє розрахувати кошторис витрат, виходячи із виду захворювання, зокрема болей у спині, міжхребцевої кили, тунельного синдрому, стенозіруючого лігаментиту та інших, що задається у лівій колонці калькулятора (рис. 4). В дільницях на проти – встановлюється кількість травмованих чи захворілих, далі визначаються затрати кожним елементом і в кінці загальна сума. Величина ймовірності захворювання/травмування впливає на складність перебігу та кількість днів лікування. Звідси і збільшення витрат.

The screenshot shows the 'Ergonomics Cost Calculator' software. At the top, there are input fields for 'Number of employees in this job/dept./org.' (9), 'Average hourly salary for these employees' (\$ 33,60 per hour), 'Average payment on medical certificates of being ill!' (\$ 29,10), and 'Illness probability' (0,90). To the right, a note says 'Only input number of employees that will be effected by the solutions you are considering'. Below this, another note says 'These values will be calculated for you'. The main area is divided into three sections: 'This past year', 'The year before', and '2 years before', each with dropdown menus for injury type (e.g., Back strain, Sciatica) and number, and corresponding typical costs. Summary values at the bottom include 'Total costs for year: \$ 6 000', 'Average annual WMSD claim costs: \$ 2 000', and 'Estimated annual indirect costs: \$ 2 400'. At the bottom, there are tabs for 'Input Workers' Comp', 'Input Solutions', 'Benefits', and 'Payback'.

Рис. 4. – Вигляд калькулятору з розрахунку кошторису затрат підприємства на травми чи захворювання

Для розрахунку кошторису на придбання обладнання пропонується розглянути три варіанти з підвищенням безпеки (зниженням ймовірності захворювання/травмування) на робочому місці. Перший – використання різноманітних механічних пристроїв (гідравлічного домкрату, пневматичного ключа), які зменшують фізичне навантаження через механізацію окремих видів робіт. Другий – використання пневмо-гідроінструменту, зокрема підйомника, який дозволяє працювати у природній позі, зменшити фізичне навантаження на плечі і передпліччя та інше. Третій – заміщення певних виробничих операцій робототехнікою (рис. 5). Сумарні фінансові витрати на придбання обладнання розраховуються, виходячи із його вартості, розходів на інженерні заходи (підготовка місця для розміщення, монтаж, наладка, первинний запуск і т. д.) навчання персоналу, сервісне обслуговування та інші непередбачені витрати, наприклад – модернізація відповідно до конкретних умов.

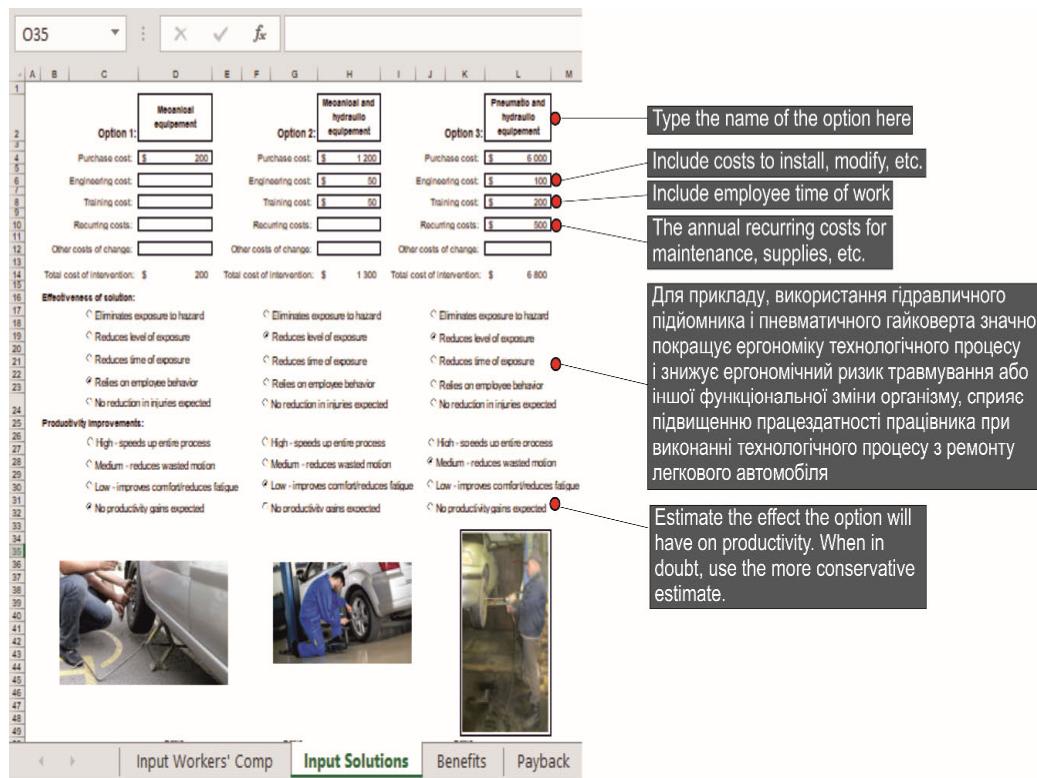


Рис. 5. – Розрахунок кошторису різних варіантів ергономічних систем

Попередні кроки дозволяють економічно обґрунтувати вибір відповідного варіанту, знайшовши точку перетину кривих залежностей витрат на обладнання за формулою (4) і збитків на лікування розрахованою за формулою (5). Данна процедура виконується автоматично після визначення відповідних фінансових витрат (рис. 6). Також програма дозволяє оцінити кількість місяців для окупності выбраного варіанту, виходячи з підвищення продуктивності праці. Оцінка проводиться, виходячи зменшення результативності від 50% до 85%, через незручні робочі пози, значне психофізіологічне навантаження, яке відчуває робітник в процесі виконання роботи. Наявність ергономічного обладнання дозволяє скоротити казані відсотки.

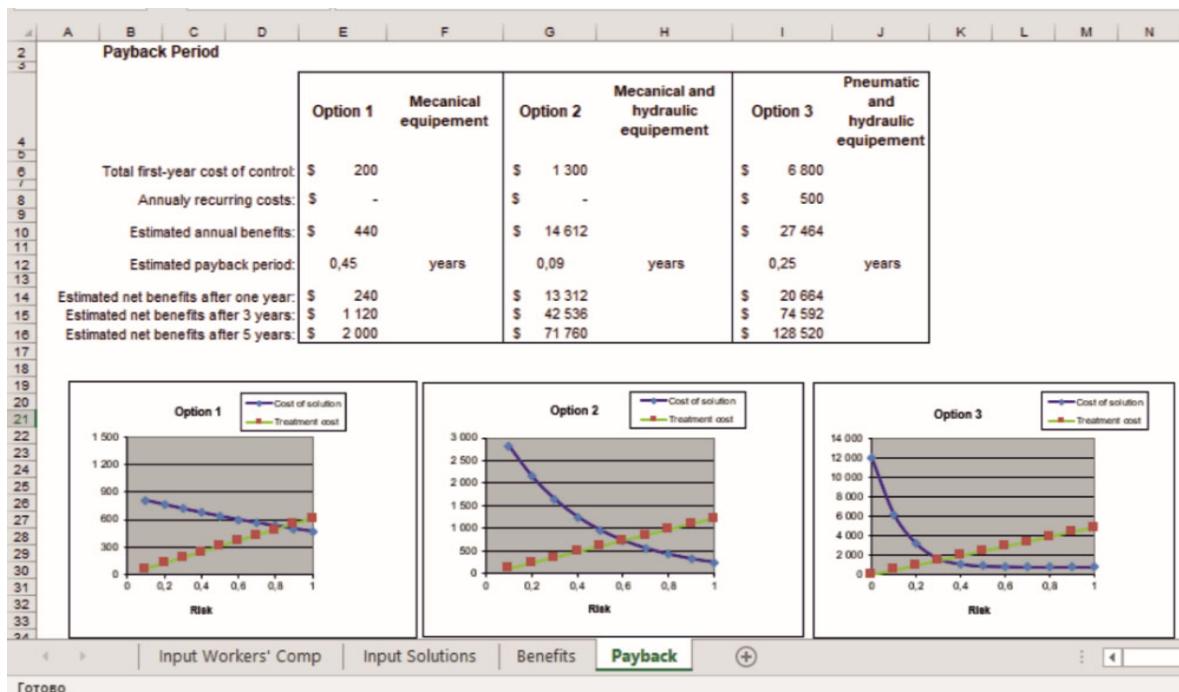


Рис. 6. - Результати економічного обґрунтування витрат на закупівлю ергономічного обладнання для визначення найбільш доцільного варіанту, виходячи із заданого рівня ймовірності травмування у порівнянні із затратами на лікування та реабілітацію працівників

Даний підхід допомагає майбутньому фахівцеві сформувати компетенцію зі здатності до системного творчого мислення, наполегливості у досягненні мети професійної та науково-дослідницької діяльності, за рахунок знаходження творчого підходу до формування певного комплексу дій в яких використовуються ресурси для перетворення вхідної інформації – робочих поз при виконанні виробничих операцій у вихідну – обґрунтування доцільності фінансових витрат на придбання обладнання для зменшення ймовірності травмування чи захворювання працівників. В якості інструмента реалізації навчальної моделі нами використано декілька взаємозв'язаних програм, які розташовані у середовищі Excel і дозволяють, послідовно виконуючи певні кроки, які потребують відповідальних рішень і розуміння відповідних процесів отримати кінцевий результат. Запропонована нами навчальний кейс складається з п'яти послідовних кроків: аналізу фотознімків, визначення ергономічних ризиків, розрахунку ймовірності травмування чи захворювання, визначення кошторису витрат на обладнання і лікування, обґрунтування прийнятного рішення, що дозволяє сформувати у майбутнього фахівця образне мислення, що є важливою складовою для досягнення успіху.

Висновки. В роботі запропоновано кейс для розвитку у майбутнього фахівця з охорони праці комплектності системного творчого мислення, наполегливість у досягненні мети професійної та науково-дослідницької діяльності через вирішення низки взаємопов'язаних задач з аналізу робочих поз, встановлення ергономічних ризиків та ймовірності травмування, визначення витрат на придбання різноманітного обладнання, яке дозволяє зменшити травматизм чи захворювання опорно-рухового апарату та збільшити продуктивність праці та обґрунтувати доцільність його придбання порівнявши зі збитками на лікування і реабілітацію працівників. Такий підхід формує у студента образне мислення, вміння приймати відповідні обґрунтовані рішення. Виробити ефективну інформаційну систему супроводу процесів на всіх етапах управління навчальним процесом та забезпечить оперативний контроль параметрів навчального процесу, в якості яких виступає рівень оволодіння компетентністями і адекватно реагувати на їх відхилення від запланованих значень.

ЛІТЕРАТУРА

1. Karwowski, E. International encyclopedia of ergonomics and human factors. Second Edition. (2002). New York, "Taylor & Francis", 3728 р.
2. Голінько В. І. Соціально-економічний моніторинг умов праці : навч. посіб. / В. І. Голінько; М-во освіти і науки України, Держ. вищий навч. заклад "Нац. гірничий ун-т". - Дніпро: НГУ, 2017. - 151 с.
3. Verbeek, J., Pulliainen, M., Kankaanpää, E. A systematic review of occupational safety and health business cases. (2009). Scandinavian Journal of Work, Environment & Health, vol. 35(6), pp. 305-312.
4. Rivilis, I., Van Eerd, D., Cullen, K., Cole, D.C., Irvin, E., Tyson, J., Mahood, Q. Effectiveness of participatory ergonomic interventions on health outcomes: a systematic review. (2008). Applied Ergonomics, vol. 39(3), pp. 342-358.
5. Nyman, T., Grootenhuis, W.J., Wiktorin, C., Liwing, J., Norrman, L. Sickness absence and concurrent low back and neck-shoulder pain: results from the MUSIC-Norrtälje study. (2007). European Spine Journal, vol. 16(5), pp. 639-640.
6. Минько В.М. Математическое моделирование в охране труда: Монография. Калининград: КГТУ, 2008. – 245 с.
7. Савченко О. Лікарняні та декретні. [Електронний ресурс]. 2016. Режим доступу: <https://i.factor.ua/ukr/journals/bn/2018/october/issue-43-44/article-40242.html>.
8. Панасюк І.В. Визначення економічних наслідків виробничого травматизму та професійних захворювань / І.В. Панасюк, Клаптцов Ю.В., Мікітенко Л.І. // . К.: КНУТД, 2013. – 23 с.
9. A Step-by-Step Guide to the REBA Assessment Tool. (2007). Retrieved from <https://ergo-plus.com/reba-assessment-tool-guide/>.

УДК 51-74:621

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ЕЛЕКТРОМАГНІТНИХ КОЛИВАНЬ

О.Е. Корнійчук

кандидат педагогічних наук, доцент, кафедра загальнотехнічних та природничих дисциплін, Житомирський агротехнічний коледж, м. Житомир, Україна, e-mail: elena.k.02@i.ua

Анотація. Стаття присвячена проблемі використання елементів математичного моделювання в процесі навчання вищої математики студентів технічних спеціальностей. Зокрема, досліджено електричну систему, яка складається з резистора, катушки та конденсатора. Проведено аналіз сили струму в ланцюгу, елементи якого під'єднано до джерела електрорушійної сили, – до батареї або генератора. Модель побудовано на основі теорії диференціальних рівнянь з використанням комп'ютерних технологій та засобів графічної інтерпретації розв'язку.

Ключові слова: електричний ланцюг, опір, індуктивність, ємність, напруга, заряд, сила струму, диференціальне рівняння.

MATHEMATICAL MODELING OF ELECTROMAGNETIC OSCILLATIONS

Olena Korniichuk

Ph.D., Associate Professor, Department of General Technical and Natural Sciences, Zhytomyr Agro-technical College, Zhytomyr, Ukraine, e-mail: elena.k.02@i.ua

Abstract. The article is devoted to the methodology of the use of mathematical modeling in the process of teaching Higher mathematics to students of technical specialties. In particular, the electrical system was investigated, which consists of a resistor, a coil and a capacitor. It was analyzed of the current in the circuit, the elements of which are connected to the source of the EMF – to the battery or generator. The model is based on the theory of differential equations using computer technology and tools graphical interpretation of the solution.

Keywords: electric circuit, resistance, inductance, capacitance, voltage, charge, current, differential equation.

Вступ. У процесі навчання вищої математики студентів технічних спеціальностей необхідно демонструвати математичні факти, об'єкти і процеси у прикладному аспекті. Найважливіший компонент професійної підготовки майбутнього інженера – математичне моделювання природничих, технологічних, економічних процесів і явищ, пов'язаних з проектуванням, конструкцією, виробництвом і експлуатацією технічних об'єктів та механічних систем. Інженер для успішної роботи за фахом повинен володіти ґрунтовними знаннями з математики, фізики, технічної механіки і знати області їх

застосувань у професійній діяльності. Без знання математичних методів і законів фізики, без застосування необхідних комп’ютерних технологій діяльність у різноманітних галузях техніки та інженерній справі неможлива.

Питанням мотивації вивчення вищої математики, проблемам формування професійних і математичних компетенцій майбутніх фахівців присвячено велику кількість багаторічних напрацювань автора. Наприклад, математика як складова в розвитку мислення сучасного економіста [1], новітні методи і прийоми навчання математичного моделювання та дослідження організації виробництва [2], формування професійного інтелекту в процесі моделювання систем штучного інтелекту [3], пропедевтика математичного моделювання в курсі вищої математики [4], моделі динаміки у задачах менеджменту лісового та мисливського господарства [5], дослідження диференційних моделей механічних систем [6], модель енергоспоживання через функції Торнквіста [7] та багато інших.

Мета роботи: розширити діапазон реальних застосувань вищої математики, спрямованих на поглиблення теоретичних знань з теорії диференційних рівнянь, на пошуково-дослідну роботу студентів, що сприятиме розвитку компетенцій та підвищенню рівня професійної підготовки фахівців у галузі автомобільного транспорту та агрономії.

Виклад матеріалу. Усі зміни, які відбуваються в електричному ланцюзі: включення, вимкнення, коротке замикання, коливання величин будь-якого параметра тощо – тягнуть за собою перехідні процеси.

У разі перехідних процесів можуть виникати великі перенапруги, надструми, електромагнітні коливання, які можуть псувати роботу пристрою аж до виходу його з ладу. З іншого боку, перехідні процеси знаходять корисне практичне застосування, наприклад, у різного роду електронних генераторах. Все це обумовлює необхідність вивчення методів аналізу нестационарних режимів роботи ланцюга.

Основним методом аналізу перехідних процесів у лінійних ланцюгах є класичний метод – розв’язування диференціальних рівнянь, які описують електромагнітний стан ланцюга.

Розглянемо *RLC*-ланцюг, який є складовою електричних мереж. Такий ланцюг містить: резистор, опір якого дорівнює R (ом); катушку, індуктивність якої – L (генрі); конденсатор, ємність якого – C (фарад). Ці елементи під’єднано до джерела електрорушійної сили (наприклад, до батареї або до генератора), яке у момент часу t подає до ланцюга напругу E . Електрична схема побудована у векторному графічному редакторі *Microsoft Visio* (рис. 1).

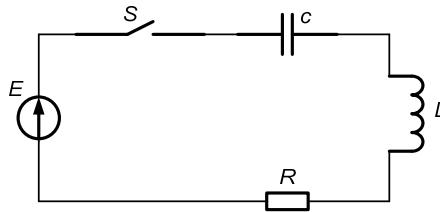


Рисунок 1 – Електричний ланцюг RLC

Нехай наразі ланцюг замкнений, тобто вимикач S включений. Позначимо силу струму в мережі у момент часу t через I , а заряд конденсатора – Q . Тоді функції Q та I задовольняють наступному рівнянню:

$$\frac{dQ}{dt} = I(t) \text{ або } Q'(t) = I(t). \quad (1)$$

Використовуючи закони електрики, падіння напруги на зазначених елементах ланцюга записуємо у таблиці 1. Для дослідження поведінки ланцюга (рис. 1) будемо використовувати дані таблиці та другий закон Кірхгофа: алгебраїчна сума падінь напруги на елементах контуру ланцюга дорівнює напрузі, прикладеній щодо цього ланцюга.

Таблиця 1 – Падіння напруги на елементах ланцюга

Елемент ланцюга	Котушка	Резистор	Конденсатор
Падіння напруги на елементі	$L \frac{dI}{dt}$	RI	$\frac{1}{C}Q$

Як наслідок, сила струму та заряд у простому ланцюгу, що складається з резистора, котушки і конденсатора, задовольняє основному рівнянню ланцюга:

$$L \frac{dI}{dt} + RI + \frac{1}{C}Q = E(t). \quad (2)$$

Якщо підставити (1) у рівняння (2), отримаємо лінійне диференціальне рівняння другого порядку відносно заряду Q при відомій напрузі E :

$$LQ'' + RQ' + \frac{1}{C}Q = E(t). \quad (3)$$

У більшості практичних задач цікавить не заряд Q , а сила струму I . Використовуючи рівняння (1), диференціюємо обидві частини рівняння (3) та підставимо I замість Q' :

$$LI'' + RI' + \frac{1}{C}I = E'(t). \quad (4)$$

Вражеє той факт, що рівняння (3) і (4) мають таку саму форму, як і розглянута механічна модель у дослідженнях загасаючих коливань [6] – рівняння руху системи, що складається з тіла, закріпленого на пружині з амортизатором, на яку діє зовнішня сила $F(t)$:

$$mx'' + cx' + kx = F(t). \quad (5)$$

Отже, між механічними та електричними системами існує аналогія.

Як правило, напруга змінного струму E є гармонійною і дорівнює $E_0 \sin \omega t$ (ω – кругова частота). Тоді рівняння (4) приймає вигляд:

$$LI'' + RI' + \frac{1}{C}I = \omega E_0 \cos \omega t. \quad (6)$$

Розв'язок цього рівняння є сумаю **перехідного струму** $I_{\text{пс}}$ (струму при перехідному процесі або струму невстановленого режиму) та **встановленого періодичного струму** $I_{\text{впс}}$:

$$I = I_{\text{пс}} + I_{\text{впс}}. \quad (7)$$

У випадках, коли потрібно знайти величину короткочасного струму, задаються початкові значення I та Q в момент часу $t = 0$. Тобто розв'язують задачу Коші – задачу з початковими умовами. Тому спочатку необхідно обчислити $I'(0)$. Для цього підставляємо $t = 0$ в рівняння (2):

$$LI'(0) + RI(0) + \frac{1}{C}Q(0) = E(0), \quad (8)$$

що дозволяє виразити $I'(0)$ через початкові значення струму, заряду та напруги.

Наприклад, розглянемо *RLC*-ланцюг, в якому $R = 50$ Ом, $L = 0,1$ Гн, $C = 5 \cdot 10^{-4}$ Ф. В момент часу $t = 0$, коли значення $I(0) = Q(0) = 0$, ланцюг підключається до батареї із сталою напругою 110 В ($E(0) = 110$). Знайдемо силу струму в ланцюгу.

- Підставляємо дані значення R , L , C в рівняння (4):

$$0,1I'' + 50I' + 2000I = (110)' = 0.$$
- Відповідне характеристичне рівняння $0,1r^2 + 50r + 2000 = 0$ має два корені $r_1 \approx -44$ і $r_2 \approx -456$.
- Записуємо загальний розв'язок: $I(t) = c_1 e^{-44t} + c_2 e^{-456t}$.
- Для знаходження c_1 і c_2 розв'язуємо систему рівнянь:

$$I(0) = c_1 + c_2 = 0$$

$$I'(0) = -44c_1 - 456c_2 = 1100, \text{ звідки } c_1 = -c_2 = 2,670.$$

Значення $I'(0)$ знайшли, підставляючи початкові умови у рівняння (2):

$$LI'(0) + RI(0) + \frac{1}{C}Q(0) = E(0). \text{ Звідки } I'(0) = \frac{E(0)}{L} = \frac{110}{0,1} = 1100 \text{ (A/c).}$$

- Шукана сила перехідного струму має вигляд:

$$I_{\text{пс}}(t) = 2,67(e^{-44t} - e^{-456t}). \quad (9)$$

Геометричну інтерпретацію розв'язку (9) проведено за допомогою ПЗ *GRAN1* (рис.2, І-1). За графіком бачимо, що сила струму під час перехідного процесу $I_{\text{пс}}(t) \rightarrow 0$ при $t \rightarrow +\infty$ незалежно від сталої напруги.

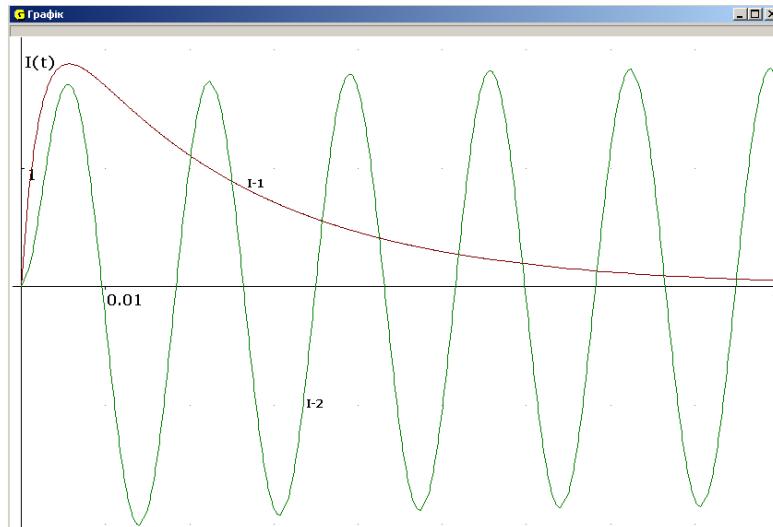


Рисунок 2 – Перехідний струм $I-1$ при підключення батареї; сумарний струм $I-2$ при підключення генератора

Якщо RLC -ланцюг з тими самими початковими умовами у момент часу $t = 0$ приєднати до генератора змінного струму з напругою $E_0 = 110 \text{ В}$ і частотою 60 Гц, то диференціальне рівняння (6) набуває вигляду:

$$0,1I'' + 50I' + 2000I = 377 \cdot 110 \cos 377t. \quad (10)$$

Розв'язок цього рівняння є сумарним струмом (7), який складається з перехідного струму $I_{\text{пс}}$ та встановленого періодичного струму $I_{\text{впс}}$:

$$I(t) = (-0,307e^{-44t} + 1,311e^{-456t}) + 1,846 \sin(377t - 0,575) \quad (11)$$

та ілюструється електромагнітними коливаннями на рис. 2, I-2.

Зручним способом для знаходження розв'язку (11), водночас побудови його графіку, дослідження та аналізу математичної моделі (10) є застосування системи комп'ютерної математики *MathCAD*.

Відмітимо, що після однієї п'ятої секунди значення перехідного струму менше за $0,000047 \text{ А}$ ($|I_{\text{пс}}(0,2)| < 0,000047 \text{ А}$). Це можна порівняти з величиною струму, який проходить крізь нервове волокно людини (сила струму в аксоні під час передачі нервового імпульсу лише $0,004 \text{ мкА}$). Таке мале значення струму показує, що перехідна складова розв'язку зникає дуже швидко.

Висновки. Той факт, що одне й те саме диференціальне рівняння слугить математичною моделлю різних фізичних (механічних та електричних) систем, ілюструє важливу об'єднуочу роль математики в дослідженні явищ і процесів.

Аналогії у математичних моделях зустрічаються не лише за одинаковим типом рівнянь, а також за отриманими розв'язками, тобто функціями та графіками цих функцій. У дослідженні даної моделі електричної системи та економічної моделі попиту через функції Торнквіста [7], простежується дивови-

жна аналогія. Візуальна схожість графіка функції, що ілюструє силу коротко-часного струму у перехідному періоді, та графіка функції попиту на маловартісні товари. Їх однакова поведінка: стрімке короткострокове зростання до пікового значення, а потім спадання до нульового рівня або рівня насиченості.

В процесі навчання вищої математики студентів технічних спеціальностей особливої актуальності набувають завдання для активізації самостійної пізнавальної діяльності, стимулювання інтересу до математичних методів, формування математичної культури та дослідницьких навичок. Математичне моделювання механічних, електричних, економічних систем посилює розуміння процесів, які відбуваються у природі і суспільстві, та є невід'ємною складовою професійної підготовки майбутніх інженерів. Розв'язування прикладних задач, побудова математичних моделей та їх динамічна візуалізація є основою в організації проблемного навчання та науково-дослідної роботи студентів.

ЛІТЕРАТУРА

1. Корнійчук О.Е. Математика як складова в розвитку мислення сучасного економіста. Педагогіка і психологія. Київ, 2007. № 1. С. 70-78.
2. Корнійчук О.Е. Новітні методи і прийоми навчання математичного моделювання та дослідження організації виробництва. Освіта та педагогічна наука. Луганськ, 2012. № 3(152). С. 54-61.
3. Корнійчук О.Е. Формування професійного інтелекту в процесі моделювання систем штучного інтелекту. Збірник наукових праць Кам'янець-Подільського нац. ун-ту ім. І. Огієнка. Сер. Педадогічна. Вип. 20. Кам'янець-Подільський, 2014. С. 90-93.
4. Корнійчук О.Е. Пропедевтика математичного моделювання в курсі вищої математики. Сборник научных трудов международной конференции «Современные инновационные технологии подготовки инженерных кадров для горной промышленности и транспорта 2016». Дніпропетровськ, 2016. С. 431-440.
5. Корнійчук О.Е. Моделі динаміки у задачах менеджменту лісового та мисливського господарства. Фізико-математична освіта : науковий журнал. Вип. 1(11). Суми, 2017. С. 62-67.
6. Корнійчук О.Е. Дослідження диференційних моделей механічних систем. Сборник научных трудов международной конференции «Современные инновационные технологии подготовки инженерных кадров для горной промышленности и транспорта 2018». Дніпро, 2018. С. 345-349.
7. Корнійчук О.Е. Модель енергоспоживання через функції Торнквіста. Сборник научных трудов международной конференции «Современные инновационные технологии подготовки инженерных кадров для горной промышленности и транспорта 2019». Дніпро, 2019. С. 320-325.

УДК 37.02

КОМПЕТЕНТНІСНИЙ ПІДХІД У РАМКАХ ПІДГОТОВКИ МАГІСТРІВ (БАКАЛАВРІВ) ДЛЯ ВИРІШЕННЯ ЗАВДАНЬ ДИЗАЙН-ПРОЕКТУВАННЯ

К.А. Зіборов¹, Т.О. Письменкова², С.О. Федоряченко³

¹кандидат технічних наук, завідувач кафедри конструювання технічної естетики і дизайну, Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», м. Дніпро, Україна, e-mail: ziborov.k.a@nmu.one

²кандидат педагогічних наук, доцент кафедри конструювання технічної естетики і дизайну, Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», м. Дніпро, Україна, e-mail: pismenkova.t.o@nmu.one

³кандидат технічних наук, доцент кафедри конструювання технічної естетики і дизайну, Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», м. Дніпро, Україна, e-mail: fedorichenko.s.o@nmu.one

Анотація. У роботі проведено аналіз відповідних вимог до сучасного дизайн-проектування в межах освітньо-професійної програми «Промислова естетика і сертифікація виробничого обладнання» спеціальності 132 «Матеріалознавство». На основі отриманого досвіду обґрунтовано необхідність формування при підготовці фахівця-матеріалознавця результатів навчання, які дозволять йому виконувати задачі дизайн-проектування.

Ключові слова: дизайн-проект, компетентності, інженерно-технічна діяльність, якість виробу.

COMPETENCE APPROACH IN THE TRAINING OF MASTER'S (BACHELOR'S) FOR DESIGNING PROBLEMS SOLVING

K.A. Ziborov¹, T.O. Pismenkova², S.O. Fedoriachenko³

¹Ph.D., Head of Department of Engineering and Generative Design, Dnipro University of Technology, Dnipro, Ukraine, e-mail: ziborov.k.a@nmu.one

²Ph.D., Associate Professor of the Department of Engineering and Generative Design, Dnipro University of Technology, Dnipro, Ukraine, e-mail: pismenkova.t.o@nmu.one

³Ph.D., Associate Professor of Department of Engineering and Generative Design, Dnipro University of Technology, Dnipro, Ukraine, e-mail: fedorichenko.s.o@nmu.one

Abstract. The paper analyzes the relevant requirements for modern design within the educational and professional program 'Industrial aesthetics and certification of production equipment' specialty 132 - Material Science. On the basis of the gained experience the necessity of formation in the preparation of a specialist-material expert of the training results which will allow him to perform the tasks of design is substantiated.

Keywords: design project, competences, engineering activities, product quality.

Вступ. Сучасні завдання, що стоять перед вищою школою при підготовці магістрів (бакалаврів) технічних спеціальностей (особливо тих, які надалі

беруть участь у створенні кінцевого продукту, наприклад, 132 Матеріалознавство), неухильно розширяють коло компетентностей, якими повинен володіти випускник для вирішення своїх професійних завдань. У зв'язку з цим особливої актуальності набуває проблема перегляду змісту і цілей підготовки цих магістрів (бакалаврів) у вищій школі. Різноманітні фактори, що впливають на зміну цільових, змістових, методологічних та організаційних характеристик підготовки технічного фахівця визначають вимоги до його компетентностей, але при цьому вказують на еволюцію етапів проектування, що відбуваються сьогодні, і проектної культури в цілому.

Проектування – це комплекс робіт який складається з пошуку, досліджень та розрахунків з метою отримання опису достатнього для створення нового об'єкту або виробу, його реконструкції, модернізації, що відповідає заданим вимогам [1]. В той же час дизайн – специфічний ряд проектної діяльності, що об'єднує художньо-предметне мистецтво і науково обґрунтовану інженерну практику у сфері індустріального виробництва. Реалізуючи функції дизайну: відображаючу, виховну, пізнавальну, комунікативну, гедоністичну, інтелект використовує всі три типи розумової діяльності: наочноділову, чуттєво-образну, поняттєво-логічну [2]. Поєднуючи ці два види діяльності можна сказати, що дизайн-проектування повинно враховувати не тільки технічні якості виробу (надійність, працездатність та ін.) , а й візуальні сторони проекту, тобто його фронтальну і глибинно-просторову композицію, технологічність виготовлення, зберігання, утилізації, загальну відповідність проекту естетичним потребам споживача [3, 4].

Таким чином, по перше, дизайн є одним з найбільш «молодих» видів проектної діяльності, спрямованим на формування в виробі саме якісних показників цієї діяльності, а, по друге, його треба розглядати, як сучасний етап еволюції проектної діяльності, та враховувати це при формуванні освітніх програм підготовки магістрів (бакалаврів).

Мета роботи – полягає в обґрунтуванні змісту підготовки магістра (бакалавра) з матеріалознавства для набуття компетентностей необхідних при виконанні задач дизайн-проектування промислових виробів.

Матеріали дослідження. Одним із сучасних шляхів модернізації системи інженерної освіти є зміна акцентів в його змісті: від вузької спеціалізації до широкопрофільної підготовки або мультидисциплінарності. Воно повинно подолати вузькоспеціалізовану орієнтацію, відкрити нові сторони привабливості і затребуваності фахівців інженерних наукомістких спеціальностей, надати випускникам вищів можливість більше вільного просування по різним професійним траекторіям.

Основною і обов'язковою умовою професіоналізму сучасного інженера є гармонійне поєднання його естетичної та інженерно-технічної підготовки.

Характер і обсяг відомостей, які він повинен мати для виконання професійної діяльності, настільки великий і різноманітний, що потребує певної ерудиції в різних областях гуманітарного та технічного напрямів. Якщо для класичного інженера сенс процесу проектування полягає в створенні матеріальної структури яка відповідає вищезазначеним вимогам (надійність, працездатність та ін.), то інженер-дизайнер в процесі реалізації і розвитку свого проектного задуму рухається не тільки від функції до форми, але і від форми до функції, черпаючи імпульси для своєї творчої роботи з області формальних якостей виробу.

В межах освітньо-професійної програми «Промислова естетика і сертифікація виробничого обладнання» бакалаврського рівня підготовки спеціальності 132 «Матеріалознавство» [5] на кафедрі конструювання, технічної естетики і дизайну НТУ «Дніпровська політехніка» формування таких здібностей у студентів розпочинається вже з перших днів навчання у виші під час опанування базової графічної підготовки: «Інженерна графіка», «Комп’ютерне креслення». Подальший розвиток навичок дизайн-проектування відбувається в межах як фахових дисциплін освітньої програми «Промислова естетика і сертифікація виробничого обладнання»: «Ергономіка та технічна естетика», «Деталі машин», «Кваліметрія та контроль якості матеріалів і виробів», «Промисловий дизайн» та ін., так і за рахунок вибіркової складової: «Технічна біоніка», «Інформаційні технології в проектуванні, моделюванні і дизайні», «3D моделювання органічних поверхонь», «Генеративний дизайн» та ін.

На магістерському рівні освітньо-професійної програми «Промислова естетика і сертифікація виробничого обладнання» спеціальності 132 «Матеріалознавство» пропонується цикл дисциплін: «Проектування взаємодії та рендерінг виробничого обладнання», «Продакт-дизайн», «Організація діяльності у сфері якості, стандартизації та сертифікації», «Експертна оцінка матеріалів і виробів» та ін., які створюють можливість формування у майбутнього технічного фахівця компетентностей необхідних при виконанні задач дизайн-проектування та верифікації нових матеріалів і виробів.

Більш кращі результати можна досягти із запровадженням сучасних САПР до освітнього процесу. Використання САПР на кафедрі КТЕД НТУ «ДП» має наскрізний характер комп’ютерної підготовки студентів. Студенти поступово всебічно вивчають системи: 3D-моделювання і створення асоціативних креслеників, проведення інженерних розрахунків (розрахунки на міцність, довговічність, втому і т.ін.), естетичного проектування. Це дозволяє на якісно новому, сучасному рівні організувати цілий ряд навчальних курсів не тільки у професійній підготовці, а й формуванні навичок «чуттєвого» проектування.

Поряд з фаховими дисциплінами студенти оволодівають знаннями з етики спілкування, психології особистості, сучасних засобів комунікації, що допомагає їм налагодити спілкування і розуміння з клієнтами: «Комунікативний дизайн», «Концепт-презентація і копірайтинг», «Основи створення фірмового стилю» та ін.

Таким чином гуманітарна, естетична складова інженерної освіти закладається як важлива умова, яка максимально сприяє реалізації наявного у студента формотворчого потенціалу.

Висновки. В рамках сучасної моделі особистісно орієнтованої освіти формується нове розуміння технічної освіти, ефективної з точки зору суспільства і людини.

Професіонал в області дизайн-проектування повинен вміти формувати і виділяти цілі проектування. У зв'язку з цим актуальною стає завдання виховання думаючого інженера, який вміє формулювати і відстоювати напрямок своєї творчої діяльності і свої технічні рішення, спрямовані на задоволення потреб споживача.

ЛІТЕРАТУРА

1. Проектування. – Режим доступу: <https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%9F%D1%80%D0%BE%D1%94%D0%BA%D1%82%D1%83%D0%B2%D0%B0%D0%BD%D1%8F>
2. Дизайн. – Режим доступу: <https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%94%D0%B8%D0%B7%D0%B0%D0%BD%D0%BD>
3. Романенко Н.Г. Дизайн-проектування як засіб формування предметно-просторового середовища // Вісник Харківської академії дизайну і мистецтв: Зб. Наук. Праць. – Харків: ХДАДМ, 2007. - №5. – С.127-132
4. Письменкова Т. О. Інноваційні методи підготовки фахівців інженерного профілю // Т. О. Письменкова, К.А. Зіборов / Вісник Донбаської державної машинобудівної академії. № 2 (44), 2018. – С.201-207
5. Освітньо-професійні програми вищої освіти. Спеціальність 132. – Режим доступу: <http://okmm.nmu.org.ua/ua/plans.php>

УДК 378.147

**ЗМІСТ І МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ПРАКТИЧНИХ ЗАНЯТЬ З КУРСУ
"ТЕХНІЧНА БІОНІКА"****I.M. Мацюк¹, Е.М. Шляхов²**

¹кандидат технічних наук, доцент кафедри конструювання, технічної естетики і дизайну, Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», м Дніпро, Україна, e-mail: matsyukin@ua.fm

²доцент кафедри конструювання, технічної естетики і дизайну, Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», м Дніпро, Україна, e-mail: shlyahove@nmu.org.ua

Анотація. В роботі викладено зміст і методику проведення практичних занять з технічної біоніки зі студентами НТУ «Дніпровська політехніка».

Ключові слова: *технічна біоніка, освітня програма, практичне заняття, методика, компетентність.*

CONTENTS AND METHODS OF PRACTICAL TRAINING IN THE TECHNICAL BIONICS COURSE**Irina Matsyuk¹, Eduard Shlyakhov²**

¹Ph.D., Associate Professor of the Department of Engineering and Generative Design, Dnipro University of Technology, Dnipro, Ukraine, e-mail: matsyukin@ua.fm

²Associate Professor, Department of Engineering and Generative Design, Dnipro University of Technology, Dnipro, Ukraine, e-mail: shlyahove@nmu.org.ua

Abstract. This paper outlines the content and methodology of practical training in technical bionics with students of Dnipro University of Technology.

Keywords: *technical bionics, educational program, practical training, methodology, competence.*

Вступ. З 2018 року кафедрою конструювання, технічної естетики та дизайну Національного технічного університету «Дніпровська політехніка» в межах спеціальності «Матеріалознавство» розпочато підготовку бакалаврів за освітньою програмою "Промислова естетика та сертифікація виробничого обладнання".

Ця освітня програма має за мету опанування студентом сукупністю загальних та спеціальних компетентностей з комплексного дизайн-проектування виробів (виробничого обладнання), раціонального вибору матеріалів та їх сертифікації на основі здійснених інновацій.

Особливості програми полягають в тому, що результати навчання поширять компетентність здобувача щодо знарядь, продуктів та методів праці в межах спеціальності.

Представлена освітня програма – це поєднання класичної інженерії та дизайну, де здобувачам надано можливість отримати актуальні компетентності сьогодення і майбутнього. Освітня програма передбачає набуття здобувачем в логічній послідовності тих результатів навчання, що дозволять опанувати складові життєвого циклу продукту (виробничого обладнання) – від ідеї до випуску у виробництво та утилізації, розробити продукт з урахуванням сертифікаційних вимог, потреб споживача, ергономічних і естетичних характеристик, економічної доцільності, отримати навички просування продукту на ринку.

Програмою передбачено викладання курсу «Технічна біоніка», метою якого є розвиток творчого мислення студентів майбутніх магістрів, підготовка їх до розробки теоретичних передумов, навчання методам пошуку нових технічних рішень на основі біонічних порівнянь, побудови математичних моделей систем біологічних прототипів, особливостям системного підходу при створенні нових проектів.

Технічна біоніка (біоміметика, біомікрія) – прикладна наука про застосування в технічних пристроях і системах принципів організації, властивостей, функцій і структур живої природи.

Для біоніки джерелом натхнення є сама природа, яка настільки мудра, що сама придумала величезну безліч ідеальних форм і конструкцій.

Створені природою форми, перевірені тисячоліттями еволюції, прекрасно виконують закладені в них функції.

Біоніка використовує властивості, закладені в структурі і організації тварин і рослин, для застосування їх в інженерній справі. При цьому виникає можливість нового підходу до конструювання різних систем. Для дизайнера це безмежна кількість варіантів конструктивних рішень для втілення своїх ідей.

Важливу роль в опануванні дисципліни грають практичні заняття.

Мета роботи. Під час практичних занять пробудити в студента жвавий інтерес до природи, щоб у своїй професійній діяльності він завжди звертався до неї в пошуку ідей для своїх майбутніх проектів. Крім того, на основі спільноті ряду законів живої і неживої природи, поглибити уявлення про єдність матеріального світу, взаємозв'язку і зумовленості явищ, їх пізнаваність.

Матеріал і результати роботи. Практичні роботи допоможуть студенту краще зрозуміти, як людина використовує досконалі конструктивні системи об'єктів живої природи у створенні різноманітних технічних об'єктів і врешті

решт мають за мету допомогти студенту більш поглиблено розібратися із геніальними створеннями природи і тим самим пробудити в ньому жвавий інтерес до вивчення світу, в якому він існує, щоб використовувати це у своїй майбутній роботі.

Навчальним планом курсу «Технічна біоніка» передбачено п'ять практичних робіт, в яких студенти спробують осягнути дивовижну досконалість павутиння, бджолиних стільників, золотого числа, а також оцінити витонченність конструкції Ейфелевої вежі.

Перше заняття присвячено бджолиним стільникам.

Бджолині стільники – [воскові](#) будівлі [бджіл](#), призначенні для зберігання запасів корму ([меду](#) та [перги](#)) і вирощування потомства; також – гніздо [бджолиної сім'ї](#). Бджолині стільники складаються з [шестигранних призматичних](#) чашечок, що розташовані по обидва боки від загальної середньої стінки.

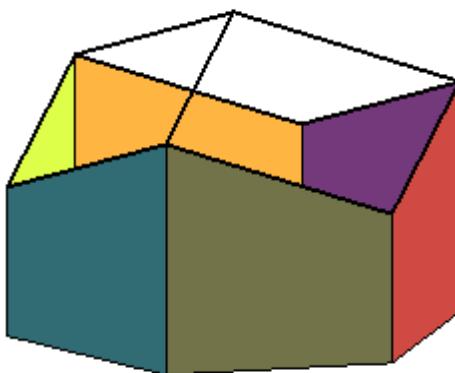


Рис. 1. – Вид денця відсіку бджолиного стільника

Бджолині стільники є по праву дивом природи. Бджолині житла – одні з найдосконаліших будівель в світі ентомології. Всі відсіки з'єднані без зазорів. На виконання витрачається однаакова кількість воску, який "будівельники" самі виробляють. Стільники відрізняються унікальною геометрією. Осередки виконані у формі шестикутника, денце складено з трьох ромбів (рис. 1). Кожен відсік схожий на витягнуту призму. Така конструкція забезпечує щільне зчеплення.

Після вивчення устрою бджолиних стільників кожен студент отримує індивідуальне завдання, в якому він має розрахувати розміри осередку з мінімальною бічною поверхнею.

У другому занятті студенти знайомляться з дивовижними властивостями павутини.

Павутина – застигла рідина, яку членистоногі витягають з концентрованого білкового розчину, що утворюється в їх особливих павутинних залозах. Одні залози виробляють міцні каркасні нитки, інші – липкі ловчі, а треті –

тонкі мотузочки, якими павук обмотує спійманий обід, щоб той не смикається і не заважав йому насолоджуватися процесом їжі.

Павутинний шовк, неперевершене по міцності натуральне волокно.

Будувати липку ловчу спіраль павук починає з краю і просувається до центру, зберігаючи однакову відстань між витками, і виходить спіраль Архімеда.

Перший вчений який відкрив і вивчив властивості цієї лінії, був великий математик і філософ з древньої Греції, Архімед. Його ім'ям вона і була названа.

Деяка пряма UV (рис. 2) спочатку збігається з прямою XX'. Пряма UV рівномірно обертається відносно точки O. По прямій UV рівномірно переміщається точка M віддаляючись від точки O. В результаті точка M, переміщаючись за вищевказаними правилами, описує лінію – спіраль Архімеда.

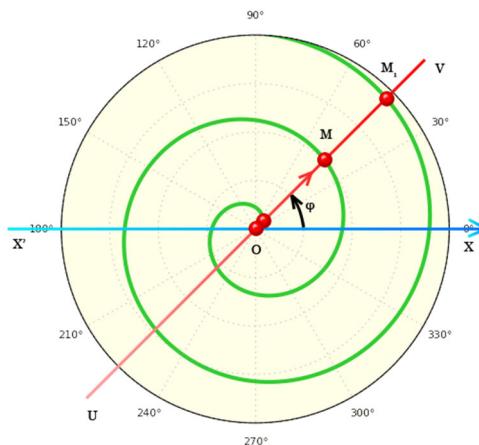


Рис. 2. – Принцип утворення спіралі Архімеда

Послідовність дій студента на цьому занятті:

- побудувати один виток спіралі в будь-якому графічному редакторі і визначити довжину цього витка;
- розрахувати цю довжину аналітично і порівняти її з отриманою в по-передньому пункті;
- отримати від викладача завдання (число витків спіралі n), визначити довжину цієї спіралі, яку порівнює з сумарною довжиною n концентричних кіл.
- визначити скільки відсотків павутинного шовку павук економить плетучи павутину по спіралі Архімеда.

На третьому занятті студент знайомиться з дивовижним золотим перетином, який є універсальним проявом структурної гармонії. Він зустрічається в природі, науці, мистецтві – у всьому, з чим може зіткнутися людина.

Найбільш повне визначення золотого перерізу свідчить, що менша частина відноситься до більшої, як більша до всього цілого. Приблизна його величина – 1,6180339887. В заокругленому процентному значенні пропорції частин цілого будуть співвідноситися як 62% на 38%. Це співвідношення діє у формах простору і часу.

Це число ($\sim 1,618$) називають золотим і позначають грецькою буквою φ на честь грецького скульптора Фідія (народився близько 490 року і помер близько 430 до н.е.), який створив фасад Парфенона в Афінах.

Безпосереднім чином з правилом золотого перетину пов'язане ім'я італійського математика Леонардо Фіbonacci. В результаті вирішення одного із завдань вчений вийшов на послідовність чисел, відому тепер як ряд Фіbonacci: 0, 1, 1, 2, 3, 5, 8, 13, 21, 34, 55 і т. д.

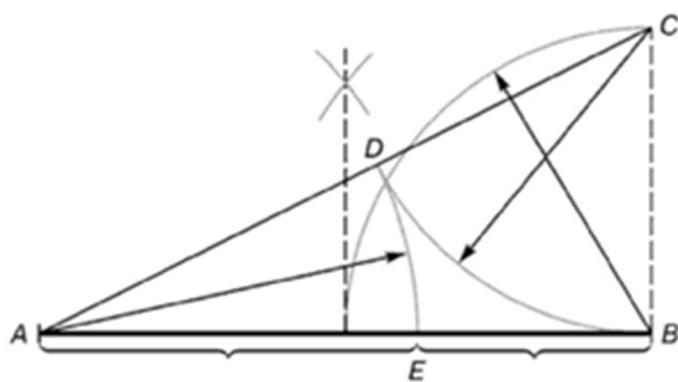


Рис. 3. – Поділ відрізка прямої по золотому перетину:
 $BC=0,5AB$; $CD=BC$

Послідовність дій студента на цьому занятті:

- поділити заданий відрізок прямої по золотому перетину, користуючись рисунком 3;
- побудувати довільний правильний п'ятикутник, в якому провести усі діагоналі, які утворюють зірку, переконатися, що відношення діагоналі до сторони рівно, як і відношення відрізків, на які діляться діагоналі точками перетину, рівні φ ;
- побудувати в Matcadі логарифмічну спіраль із заданими викладачем параметрами. Потім робить теж саме (один виток) в будь-якому графічному редакторі (AutoCAD, Компас і т.і.).
- побудувати комбінацію квадратів, сторони яких дорівнюють числам Фіbonacci.

Під час останніх двох практичних занять студенти знайомляться із чудом інженерного мистецтва – Ейфелевою вежею.

Ця вежа була зведена в Парижі інженером Г. Ейфелем в представницьких цілях для Всесвітньої виставки 1889 в Парижі. Ейфелева вежа стала символом міста, і неможливо уявити Париж без цієї будівлі.

Ця споруда вважається одним з найбільш ранніх очевидних прикладів використання біоніки в інженерії.

В основу конструкції вежі покладено будову гомілкової кістки людини, голівка якої покрита витонченою мережею мініатюрних кісточок, завдяки яким навантаження дивним чином перерозподіляється по кістці. Ця мережа має чітку геометричну структуру.

Послідовність першої частини цієї роботи:

- користуючись даними таблиці розмірів вежі побудувати у масштабі її профіль;
- за даними тієї ж таблиці за завданням викладача отримати рівняння кривої, яка описує профіль вежі;
- в комп’ютерному графічному редакторі побудувати спрощену 3D-модель частини або всієї вежі.

В другій частині роботи студент переконується у перевагах стрижневих конструкцій перед суцільними конструкціями.

Структурами, або структурними конструкціями, називають просторові стрижневі системи, утворені стрижнями, що з’єднуються у вузлах і розташованими в просторі і строгому геометричному порядку.

Принциповою особливістю структурних конструкцій є їх геометрична будова, подібна кристалічним гратах металу і є типовим прикладом просторової системи. Навантаження, прикладене до будь-якого вузла структури, викликає зусилля, в першу чергу, в прилеглих до вузла просторово розташованих стрижнях.

Застосування стрижневих систем дозволяє добитися потрібного ефекту меншою кількістю металу.

У другій частині цієї роботи для заданих викладачем умов студент порівнює результати розрахунків однопрогонової статично визначені балки з точки зору металоємності у випадках:

- балка прийнята двотавровою;
- балка виконана у вигляді плоскої стрижневої конструкції.

Висновок. Таким чином, виконуючи практичні роботи студент має краще зрозуміти геній і велич природи і в подальшому житті завжди мати намір консультуватися із світом, в якому він існує.

ЛІТЕРАТУРА

1. Агнес Гийо, Жан-Аркаді Мейе. Бионіка. Когда наука имитирует природу. Москва: Техносфера, 2013. – 280 с.

2. Мацюк І.М. Методичні вказівки до практичних робіт студентів за дисципліною «Технічна біоніка», що навчаються за освітньою програмою «Промислова естетика і сертифікація виробничого обладнання» спеціальності 132 «Матеріалознавство» / І.М. Мацюк, Е.М. Шляхов – Нац. техн. ун-т «Дніпровська політехніка». – Д. : НТУ «ДП», 2019. – 18 с.

УДК 378.147+001.811:025.5

ПУБЛИКАЦИОННАЯ КОМПЕТЕНТНОСТЬ СТУДЕНТОВ

В.Е. Олишевская¹, Т.А. Недайвода²

¹кандидат технических наук, доцент кафедры автомобилей и автомобильного хозяйства, Национальный технический университет «Днепровская политехника», г. Днепр, Украина, e-mail: olishevska.valentina@gmail.com

²заведующая справочно-библиографическим отделом научно-технической библиотеки, Национальный технический университет «Днепровская политехника», г. Днепр, Украина, e-mail: nedaivoda.t.a@nmu.one

Аннотация. Выполнено библиографическое описание часто используемых в студенческих работах первоисточников, которое соответствует ДСТУ 8302:2015. Приведенные примеры грамотного библиографического описания трудов облегчают восприятие материала, сокращают время на ознакомление и повышают публикационную компетентность студентов в условиях дистанционного научно-образовательного процесса.

Ключевые слова: публикационная компетентность, информация, библиографическое описание.

PUBLICATION COMPETENCE OF STUDENTS

V.E. Olishevska¹, T.O. Nedaivoda²

¹Ph.D., Associate Professor of Automobiles and Automobile Economy Department, Dnipro University of Technology, Dnipro, Ukraine, e-mail: olishevska.valentina@gmail.com

²Manager of the Reference and Bibliographic department of Scientific and Technical Library, Dnipro University of Technology, Dnipro, Ukraine, e-mail: nedaivoda.t.a@nmu.one

Abstract. Bibliographic description of the original sources often used in student works, which corresponds DSTU 8302:2015, is executed. The resulted examples of competent bibliographic description of labours facilitate perception of material, abbreviate time on the acquaintance and promote the publication competence of students in the conditions of the controlled from distance scientifically-educational process.

Keywords: publication competence, information, bibliographic description.

Введение. Важнейшей категорией образовательного процесса является компетентность студентов как способность успешно учиться, осуществлять профессиональную деятельность на основе теоретических знаний, практических умений, творческого мышления и других качеств личности [1].

Новые возможности для самообразования и творчества студентов дает дистанционное образование, обеспечивающее легкость и высокую скорость получения информации, различной по способу восприятия, форме представления, назначению, значению.

Доступность информации и возможность ее передачи усиливают значение понятий «истинность информации», «интеллектуальная собственность», «плагиат», «академическая добропорядочность».

Распространенными причинами плагиата в студенческих работах являются недостаточное понимание важности ссылки на первоисточник и не правильное оформление ссылки на работы других авторов.

Информационно-коммуникационные технологии и работа с информацией требуют формирования публикационной компетентности студентов, особенно важной и актуальной в условиях дистанционного обучения.

Цель работы. Повышение публикационной компетентности студентов в условиях дистанционного научно-образовательного процесса на примерах библиографического описания первоисточников в соответствии с ДСТУ 8302:2015.

Материал и результаты исследований. Работа с информацией в рамках академической добропорядочности требует обязательного выполнения библиографического описания первоисточников.

Библиографическое описание – это вид свертывания информации, содержащий необходимый и достаточный минимум сведений о документе и позволяющий идентифицировать его в потоке информации.

Студенты, выполняющие библиографическое описание, часто допускают неточности, которые обусловлены несколькими факторами:

- ✓ необходимостью изучения стилей библиографического описания и затрат большого количества времени;
- ✓ одновременным действием двух Национальных стандартов по оформлению библиографической информации в научных работах (ДСТУ 8302:2015 и ДСТУ ГОСТ 7.1:2006) [2-3];
- ✓ наличием более 6 тысяч разных правил (стилей) цитирования трудов в научных работах (например, стиль цитирования Ассоциации современного языка (MLA Citation Style), стиль цитирования Института инженеров электротехники и электроники (IEEE Citation Style), Гарвардский стиль цитирования (Harvard Citation Style) и пр. [4]);

- ✓ необходимостью описания источников, представленных в электронном виде (электронных ресурсов).

Первоисточники, используемые студентами нашего вуза в индивидуальных, курсовых и дипломных работах, указываются в параграфе «Перелік джерел посилання» и оформляются в соответствии со стандартами ДСТУ 8302:2015. Інформація та документація. Бібліографічне посилання. Загальні положення та правила складання, ДСТУ 3582:2013 Інформація та документація. Бібліографічний опис. Скорочення слів і словосполучень українською мовою. Загальні вимоги та правила, ГОСТ 7.12-93 Система стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу. Библиографическая запись. Сокращение слов на русском языке. Общие требования и правила [2, 5, 6].

Библиографическое описание электронных ресурсов подчиняется общим правилам стандартного библиографического описания, но имеет ссылку на электронный адрес.

Разработанные в данной статье примеры библиографического описания первоисточников, позволяющие студентам самостоятельно оформлять ссылки на труды других авторов, для легкости восприятия материала сведены в табл. 1.

Таблица 1 – Примеры библиографического описаний первоисточников

Характеристика первоисточника	Примеры оформления
Печатные издания (книги)	
<i>Книга одного автора</i>	Захаркін О. У. Технологічні основи машинобудування (основні способи обробки поверхонь та технологічні обробляючі системи для їх реалізації) : навч. посіб. Суми : Сумський державний університет, 2011. 136 с.
<i>Книга двух авторов</i>	Колосюк Д. С., Зеркалов Д. В. Експлуатаційні матеріали : підручник. 2-ге вид., доп. Київ : Арістей, 2005. 241 с.
<i>Книга трех авторов</i>	Бойченко С. В., Иванов С. В., Бурлака В. Г. Моторные топлива и масла для современной техники : монография. Київ : Изд-во Национального авиационного университета, 2005. 216 с.
<i>Книга, имеющая более трех авторов</i>	Четыре автора:

ров, а також сбо-
рники, справоч-
ники

Півняк Г., Шкрабець Ф., Нойбергер Н., Ципленков Д.
Основи вітроенергетики : підручник. Дніпропетровськ
: Нац. гірн. ун-т, 2015. 335 с.

Пять авторов и больше:

Калинина Н. Е., Калинин В. Т., Вилищук З. В. и др. На-
номатериалы и нанотехнологии: получение, строе-
ние, применение : монография. Днепропетровск :
Изд-во Маковецкого, 2012. 192 с.

Стукало Н. В., Ковалчук К. В., Литвин М. В. та ін. Пла-
гіат у студентських роботах: методи виявлення та за-
побігання : методичн. посіб. Від. за випуск К. В. Кова-
льчук. Дніпропетровськ : Іздательство ДНУ ім. О. Гон-
чара, 2013. 44 с.

Указывается язык и переводчик:

Автомобильный справочник. 3-е издание / пер. с англ.
Фирма «Bosch». Москва : За рулем, 2012. 1274 с.

Книга, переведен-
ная с иностран-
ного языка

Документ в целом

Многотомные издания

Борисевич В. К., Виноградский А. Ф., Карпов Я. С. и др.
Конструкционное материаловедение : ученик : в 2 кн.

Борисевич В. К., Виноградский А. Ф., Карпов Я. С. и др.
Конструкционное материаловедение : ученик : в 2 кн.
/ Под общ. ред. А. Ф. Виноградского, Я. С. Карпова,
Н. И. Семишова. Харьков : Национальный аэрокосми-
ческий университет им. Н. Е. Жуковского «Харьковс-
кий авиационный институт», 2001. Кн. 1.: Металлы и
сплавы. 456 с.

Борисевич В. К., Виноградский А. Ф., Карпов Я. С. и др.
Конструкционное материаловедение : ученик : в 2 кн.
/ Под общ. ред. А. Ф. Виноградского, Я. С. Карпова,
Н. И. Семишова. Харьков : Национальный аэрокосми-
ческий университет им. Н. Е. Жуковского «Харьковс-
кий авиационный институт», 2002. Кн. 2.: Неметаллы
и композиты. 342 с.

Сукач М. К., Сидоренко В. П., Аржаев Г. О. та ін. Авто-
мобільні експлуатаційні матеріали : навч. посіб. для
дистанційного навчання. Київ : Університет «Україна»,
2006. Ч. 1: Паливно-мастильні матеріали та спеціальні
рідини. 256 с.

Составные части документов

Статья из журнала (один автор)

Олишевская В. Е. Повышение ресурса горно-металлургического оборудования обработкой трибологических узлов геомодификаторами трения. *Металлургическая и горнорудная промышленность*. 2007. № 2. С. 82-84.

Статья из журнала (два или три автора)

Савченко А. А., Олишевская В. Е. Определение факторов, влияющих на коэффициент сопротивления качению массивных высокоэластичных шин. *Науковий вісник Національного гірничого університету*. 2009. № 10. С. 73-75.

Pivnyak G. G., Sakhno V. P., Kravets V. V., Bas K. M. Method for determining high-speed vehicle contact forces of the ground transport. *Naukovyi Visnyk NHU*. 2019. № 1. Р. 55-61.

Статья из журнала (четыре автора и больше)

Калинина Н. Е., Носова Т. В., Калинин А. В и др. Обработка свариваемых алюминиевых сплавов тугоплавкими модификаторами – эффективный способ повышения свойств. *Вісник Дніпропетровського університету. Серія: Ракетно-космічна техніка*. 2019. № 4. Т. 27. вип. 22. С. 74-78.

Статья из сборника

Кривда В. В. Параметры автомобильно-железнодорожной перегрузочной площадки при использовании карьерного автотранспорта с механизмом изменения центра масс. *Геотехническая механика : межвед. сб. науч. трудов*. № 111. Днепропетровск, 2013. С. 58-66.

Олишевская В. Е., Гаркавенко Д. В., Сташевская И. В., Черкашин М. О. Особенности определения нанотвердости металлов и сплавов. *Системне проектування та аналіз характеристик аерокосмічної техніки : зб. наук. праць*. Дніпро : Ліра, 2019. т. ХХVII. С. 105-112.

Олішевська В. Є., Бас К. М., Гололобов О. Б. Відновлення трибосполучень геомодифікаторами тертя. 12 міжнародний симпозіум укр. інженерів-механіків у Львові : тези доповідей. м. Львів, 28-29 травня 2015 р. Львів, 2015. С. 131-132.

Материалы конференций (тезисы, доклады)

Олишевская В. Е., Кармановский В. О. Интерактивная форма обучения на примере темы «Автомобильные топлива». *Наукова весна 2015 : матеріали VI-ї всеукр.*

наук.-техн. конф. студентів, аспірантів і молодих учених, м. Дніпропетровськ, 1-2 квіт. 2015 р. Дніпропетровськ, 2015. С. 5-11.

Иностранные источники

Книга

Kravets V., Kravets T., Burov O. Monomial (1,0,-1)-Matrices-(4x4). Part 2. Application to the Rotation in Space. LAP LAMBERT Academic Publishing, 2017. 92р.

Статья из иностранного журнала

Pivnyak G. G., Kravets V. V., Bas K. M. et el. Analysis of Cost Efficiency in the Context of a Filling and Charging Station for Hybrid Vehicles. *Mechanics, Materials Science & Engineering Journal*. 2017. Vol. 13. P. 188-197.

Нормативные документы

Стандарт

ДСТУ 7687:2015. Бензини автомобільні Євро. Технічні умови. [На заміну ДСТУ 4839:2007; чинний від 2016-01-01]. Вид. офіц. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2015. 20 с. (Національний стандарт України).

Норматив

Правила дорожнього руху : затв. Постановою Кабінету Міністрів України № 1306 від 10 жовт. 2001 р. : зі змін. та допов. : відповідає офіц. тексту. Київ : Укрспецвидав, 2017. 63 с.

Патент

Задня підвіска вантажного автомобіля з електромеханічною трансмісією: пат. 79872 Україна: МПК B62D 21/00, B60G 21/00. № 102793; заявл. 23.07.2012; опубл. 12.08.2013, Бул. № 15. 4 с.

Нормы

СОУ – Н МПП 73.020 – 078 -2: 2008. Норми технологічного проектування гірничодобувних підприємств із відкритим способом розробки родовищ корисних копалин. Частина II. Т. 1. Відкриті гірничі роботи. Київ : Міністерство промислової політики України, 2008. 714 с.

Неопубликованные документы

Диссертация

Крівда В. В. Обґрунтування раціональних параметрів систем розробки глибокого кар'єру при застосуванні автосамоскидів вдосконаленої конструкції : дис. ... канд. техн. наук : 05.15.03 / ДВНЗ «Національний гірничий університет». Дніпропетровськ, 2015. 212 с.

Автореферат

Крівда В. В. Обґрунтування раціональних параметрів систем розробки глибокого кар'єру при застосуванні автосамоскидів вдосконаленої конструкції : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.15.03. Дніпропетровськ, 2015. 21 с.



Электронные информационные ресурсы

Книга

Чабанний В.Я., Магопець С.О., Мажейка О.Й. та ін. Ремонт автомобілів: навч. посіб. / за ред. В. Я. Чабанного. Кіровоград: Кіровоградська районна друкарня, 2007. Книга 1. 720 с.
 URL: http://library.kr.ua/elib/chabannyi/Chabannyi_Remont_avto_kn1.pdf (дата звернення: 7.04.2020).

Статья из журнала

Олишевская В.Е., Савченко А.А., Куанышев М.К. Повышение качества сборочных работ резьбовых соединений при выполнении технического обслуживания и текущего ремонта автомобилей. *Вестник Актюбинского регионального государственного университета имени К. Жубанова*. 2015. № 1. С. 52–58. URL: <http://rmebrk.kz/journals/3275/1200.pdf> (дата звернення: 7.04.2020).

Норматив

Про Правила дорожнього руху : затв. Постановою Кабінету Міністрів України № 1306 від 10 жовт. 2001 р. Дата оновлення 07.03.2020.
 URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1306-2001-%D0%BF#n16> (дата звернення: 07.04.2020).

Рабочая программа дисциплины

Олішевська В. Є. Робоча програма навчальної дисципліни «Конструкційні та експлуатаційні матеріали в автомобільній галузі» для бакалаврів спеціальності 274 Автомобільний транспорт. Дніпро : НТУ «ДП», 2019. 18 с. URL: <http://ir.nmu.org.ua/handle/123456789/155088> (дата звернення: 7.04.2020).

Методические рекомендации

Олішевська В. Є. Конструкційні та експлуатаційні матеріали в автомобільній галузі : методичні рекомендації до виконання індивідуальних робіт для бакалаврів спеціальності 274 Автомобільний транспорт. Дніпро : НТУ «ДП», 2018. 44 с.
 URL: <http://ir.nmu.org.ua/handle/123456789/152194> (дата звернення: 07.04.2020).

В «Переліку джерел посилання» библиографические ссылки рекомендуется приводить в порядке первого упоминания в тексте индивидуальной, курсовой или дипломной работы. При этом, язык библиографического описания, как правило, соответствует языку выходных сведений первоисточника.

Оформление ссылок в тексте индивидуальной, курсовой или дипломной работы на первоисточник, включенный в параграф «Перелік джерел посилання», осуществляется следующим образом: на один документ – номер первоисточника (из параграфа «Перелік джерел посилання») заключается в тексте в квадратные скобки, например: [18], на несколько трудов – ссылки перечисляются через запятую, например, [18, 20-24, 26, 108].

Выводы. В работе разработано корректное библиографическое описание первоисточников в примерах, которое позволяет студентам без ошибок и без затрат времени оформить «Перелік джерел посилання» в индивидуальных, курсовых и дипломных работах в соответствии со стандартом ДСТУ 8302:2015. Умение правильно оформлять библиографическое описание играет важную роль в формировании публикационной компетентности и академической добропорядочности студентов.

ЛІТЕРАТУРА

1. Про вищу освіту : Закон України від 01.07.2014 р. № 1556-VII. Дата оновлення: 18.03.2020 URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1556-18>.
2. ДСТУ 8302:2015. Бібліографічне посилання. Загальні положення та правила складання. [Уведено вперше; чинний від 4-03-2016]. Вид. офіц. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2016. 20 с. (Інформація та документація).
3. ДСТУ ГОСТ 7.1:2006. Бібліографічний запис. Бібліографічний опис. Загальні вимоги та правила складання. [Чинний від 2007-07-01]. Київ : Держспоживстандарт України, 2007. 47 с. (Система стандартів з інформації, бібліотечної та видавничої справи).
4. Міжнародні правила цитування та посилання в наукових роботах : методичні рекомендації / автори-укладачі: О. Боженко, Ю. Корян, М. Федорець ; редактор: В. С. Пашкова, О. В. Воскобойнікова-Гузєва, Я. Є. Сошинська, О. М. Бруй ; Науково-технічна бібліотека ім. Г. І. Денисенка Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» ; Українська бібліотечна асоціація. – Київ : УБА, 2016. – Електрон. вид. – 1 електрон. опт. диск (CD-ROM). – 117 с.
5. ДСТУ 3582:2013. Бібліографічний опис. Скорочення слів і словосполучень українською мовою. Загальні вимоги та правила (ISO 4:1984, NEQ ; ISO 832:1994, NEQ). [На заміну ДСТУ3582-97; чинний від 23-08-2013]. Вид. офіц. Київ : Мінекономрозвитку України, 2014. 18 с. (Інформація та документація).
6. ГОСТ 7.12—93. Система стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу. Библиографическая запись. Сокращение слов на русском языке. Общие требования и правила. [Дата введения 1995-07-01]. Изд. офиц. Минск : Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации, 2008. 15 с. (Система стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу) (Межгосударственный стандарт).

УДК 362

КОМУНІКАТИВНИЙ ДИЗАЙН ЯК ІНСТРУМЕНТ ФОРМУВАННЯ SOFT SKILLS**Т.О. Письменкова¹, К.А. Зіборов², І.В. Вернер³**¹кандидат педагогічних наук, доцент кафедри конструювання технічної естетики і дизайну, Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», м. Дніпро, Україна, e-mail: pismenkova.t.o@nmu.one²кандидат технічних наук, завідувач кафедри конструювання технічної естетики і дизайну, Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», м. Дніпро, Україна, e-mail: ziborov.k.a@nmu.one³асистент кафедри конструювання технічної естетики і дизайну, Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», м. Дніпро, Україна, e-mail: verner.i.v@nmu.one

Анотація. В роботі проаналізовано звички та потреби нових поколінь Z і Альфа. Визначено основні напрямки розвитку soft skills у студентів сьогодення для професійної та соціальної затребуваності в майбутньому. Запропоновано дисципліну «Комунікативний дизайн» як інструмент формування soft i digital skills.

Ключові слова: *soft skills, комунікативний дизайн, інструмент формування soft i digital skills, нові покоління Z і Альфа.*

COMMUNICATIVE DESIGN AS A TOOL OF SOFT SKILLS FORMATION**Т.О. Pismenkova¹, К.А. Ziborov², І.В. Verner³**¹Ph.D., Associate Professor of the Department of Engineering and Generative Design, Dnipro University of Technology, Dnipro, Ukraine, e-mail: pismenkova.t.o@nmu.one²Ph.D., Head of Department of Engineering and Generative Design, Dnipro University of Technology, Dnipro, Ukraine, e-mail: ziborov.k.a@nmu.one³assistant, Department of Engineering and Generative Design, Dnipro University of Technology, Dnipro, Ukraine, e-mail: verner.i.v@nmu.one

Abstract. This paper analyzes the habits and needs of new generations of Z and Alpha. The main directions of development of soft skills in the students of today for professional and social demand in the future are defined. The discipline "Communicative design" is proposed as a tool for forming soft and digital skills.

Keywords: *soft skills, communicative design, soft and digital skills generation tool, new generations of Z and Alpha.*

Вступ. Задача вищої освіти перш за все, це погляд в майбутнє, прогнозування та розуміння його. Щоб дізнатися, яким буде завтра, потрібно вже зараз вивчати сучасних дітей і підлітків - тих, хто буде формувати наше майбутнє і жити в ньому. А це так звані покоління Z і Альфа [3].

І хоча вважається, що сучасні підлітки запрограмовані на багато і можуть, наприклад, слухати музику, переглядати Instagram і робити домашнє завдання одночасно, це не зовсім так: в результаті увага розсіюється, а інформація засвоюється набагато складніше. Крім того, заучування і запам'ятовування у них не в пріоритеті, адже вся інформація є в інтернеті. На перший план виходять навички її пошуку і верифікації. «Наше сприйняття будь-яких явищ - кліпове. Картинки переконливіше тексту. Чим коротше текст, тим краще. Складне відсікається. Нам важко довго на чомусь фокусуватися», - розповідає в інтерв'ю «РБК Стиль» представник покоління Z Іван Сурвилло [3].

Але при цьому сучасна молодь націлена на отримання дійсно корисних знань і на успішну кар'єру, яку, до речі, не завжди пов'язує з офісом, адже працювати віддалено буває комфортніше, враховуючи властивий нинішній молоді індивідуалізм.

Замислюватися про кар'єру представники покоління Z намагаються раніше: для них дуже важливо знайти можливість для самореалізації. За даними консалтингової фірми Robert Half вони більш вимогливі при виборі майбутньої компанії. Серед пріоритетів покоління Z - власний бізнес, який вони іноді починають будувати ще в школі/університеті за допомогою соцмереж.

«Альфи» це люди, які народилися приблизно після 2010 року. «Альфи» є учасником ненавмисного глобального експерименту. Їм з наймолодшого віку замість пустушок, аніматорів і навчальних книжок пропонують дивитися в екрані.

Що нам чekати від них? Можна будувати тільки загальні припущення, проте вже зараз зрозуміло, що вплив технологій на їх життя буде колосальним. Вони будуть рости, взаємодіючи з штучним інтелектом, роботами, «розумними» іграшками.

Велике значення в їх формуванні гратимуть соціальні мережі. Для покоління Z Facebook або Snapchat - це інструмент, для Альфа - спосіб життя.

Мета роботи - визначити пріоритетні напрямки та інструменти формування soft skills у студентів сьогодення для успішного використання їх в майбутньому.

Основний матеріал. За словами Мак Крінда [3], покоління Альфа і молодші Z є матеріально забезпеченим, технологічно підкованим і освіченими на сьогоднішній день. Їм, як ніколи, раніше будуть потрібні інтерактивні персоналізовані програми і методи навчання. Тому необхідно змінювати і освіту, бо змінюється сприйняття інформації людьми.

Чому важливо звертати увагу на ці покоління, бо вже сьогодні вони впливають на купівельні рішення всередині сімей. У червні 2019 року

OnePoll провели дослідження під назвою «Розуміючи покоління Альфа». В ході дослідження опитали 8000 батьків - з дітьми від 4 до 9 років з різних країн. 65% опитаних відзначили, що звички їхніх дітей впливали на останню покупку. 31% цих батьків вважає, що більшого значення для їхніх дітей мають не іграшки, а технології, свята або домашні тварини [4]. З чого можна зробити висновок, що для покоління Альфа важливі емоції які впливають на їх вибір.

Типовий представник покоління Альфа і молодших Z - це дитина, яка знає, як користуватися Youtube раніше, ніж вчиться писати і читати. Самий кращий вид дозвілля для нього - це серфінг в інтернеті, соціальні мережі і перегляд відео. В цілому відео в їхньому житті відіграє домінуючу роль. Вже зараз вони черпають інформацію, вчаться, проводять дозвілля, спілкуються за допомогою відео. Логічно, що найкращий інструмент для захоплення покоління Альфа і молодших Z same Youtube.

Представники покоління Альфа і молодших Z це просунуті юзери з пелюшок. Вони вже не зможуть уявити світ без віртуальної реальності, смартфонів, електронних книг, мобільних пристроїв. Їх життя буде щільно пов'язана з Internet of things. Саме там і можна їх ловити вже зараз.

Діти покоління Альфа і молодших Z мають вроджену здатність сприймати величезний обсяг інформації. За дошкільний вік вони дізнаються більше, ніж їх бабусі й дідуся за все життя!

Текст вже поступається місцем картинкам і інфографіці, адже мозку потрібно якось справлятися зі споживанням всього потоку інформації. Представники цього покоління не затримують довго свою увагу на чомусь одному, адже вже завтра з'являється щось нове і весь час треба «бігти».

Тому в комунікації з новим поколінням будуть важливі лаконічність і day-to-day touch. З ними не пройде «фокус» - провів рекламну кампанію 4 тижні і пожинати плоди ... Комунікація з ними повинна вибудовуватися поступово, ненав'язливо, але бути під рукою необхідно весь час і весь час бути цікавими для них.

Це покоління не терпить насильства і нав'язливості, їх не можна зумусити щось зробити. Примус як метод навчання на них не діє, вони з дитинства звикли до свободи вибору. І тільки ставши частиною їхнього життя і лише в тому випадку, якщо вони усвідомлюють, навіщо їм це потрібно, ми зможемо отримати їх увагу.

Відносини до вибору будь-чого для цих поколінь дещо змінятися. Для Альфа та молодших Z важливий не стільки бренд сам по собі, як те, що цей бренд надає значущості в очах інших. Їм подобається виділятися! А тому необхідно роботи акцент на персоналізацію.

Успіх бренду в очах даного покоління буде залежати в першу чергу від нематеріальних переваг, які бренд може надати, причому саме йому, конкретній людини. Бренды mass market будуть менш цікаві даному поколінню. Виграють ті бренди, які зможуть розробити якісь конструктори, шаблони, які кожна людина зможе індивідуалізувати за своїм бажанням, або ж будуть виробляти і продавати матеріал, з якого споживачі будуть самі виготовляти свої речі [5].

Зважаючи на все вище викладене, вже прослідковується логіка зміни парадигми навчання в бік гуманітаризації, а саме розвитку soft skills.

Однак роль soft skills потребує актуалізації, що передбачає визначення основних напрямків їх формування, а також встановлення ступеня важливості.

Результати дослідження проведеного Стенфордським дослідним інститутом спільно з фондом Карнегі Мелона серед генеральних директорів компаній зі списку «Fortune 500», показали, що їх довготривалий і стабільний успіх в роботі на 75% визначається soft skills і тільки на 25% - hard skills [2]. На основі досліджень, проведених в 16 європейських країнах, зроблено висновок про те, що 93% роботодавців вважають soft skills такими ж важливими якостями співробітника, як і його професійні навички. Провідна міжнародна компанія Boston Group, що спеціалізується на управлінському консалтингу, визначила, що найбільш затребувані саме комунікативні навички. На думку 79% опитаних, комунікативні навички - найважливіша якість здобувача, яка необхідна всім. Комунікативні навички включають вміння вести бесіду, аргументувати свою позицію, вибудовувати контраргументації, ставити правильні питання, доносити зрозуміло інформацію і т.ін. Далі йдуть активна життєва позиція - 78%, аналітичне мислення - 77%, витривалість - 75%, вміння працювати в команді - 74%, прагнення досягати поставлених цілей - 70%, здатність вирішувати конфлікти - 54%, вміння надихати новими ідеями - 54%, креативність - 43%, надійність - 42% [1].

Як видно з дослідження, і сьогодніолодіння комунікативними навичками є вкрай важливе. Однак необхідно враховувати розвиток засобів комунікації і вимоги поколінь Z і Альфа.

Сьогодні безумовно необхідно комунікативні навички переорієнтовувати в бік digital технологій і міняти мислення в декількох напрямках: інтернет як медіаканал - must have, лаконічність комунікації і day-to-day touch, донесення персоналізованої значущості для цільової аудиторії.

Вирішити дану задачу можливо за допомогою комунікативного дизайну. Комунікативний дизайн - це форма спілкування, яка використовує візуальний аспект для передачі певних ідеалів або для стимулювання певних почуттів і емоцій від своєї аудиторії.

У комунікативного дизайну є наповнення як його головна мета. Він повинен викликати реакцію, змусити споживача у відповідний спосіб побачити продукт, привернути його увагу, донести інформацію. Комунікативний дизайн фокусується на зміні інтерактивності і формуванні комунікативних можливостей. Програмне забезпечення і додатки створюють можливості для спілкування. У складному цифровому середовищі навколо нас комунікаційний дизайн став потужним засобом охоплення цільової аудиторії.

Термін «комунікативний дизайн» часто використовується як взаємозамінні з візуальним спілкуванням, але має альтернативне ширше значення, яке включає слух, голос, дотик і нюх. Прикладами комунікативного дизайну є інформаційна архітектура, редактування, друкарня, ілюстрація, веб-дизайн, анімація, реклама, навколошнє середовище, дизайн візуальних образів, виконавське мистецтво, копірайтинг і професійні навички письма, що застосовуються в творчих галузях.

Часто вважають, що найважливіша риса дизайнера візуальних комунікацій (або будь-якого іншого виду дизайнера) це ексцентричності і хист художника. Насправді, творчість є лише частиною того, що дизайнер робить. Дизайнери не обов'язково повинні малювати, хоча вони часто малюють, використовуючи це як спосіб вивчити ідеї або донести їх. Дизайнер візуальних комунікацій використовує як ліву, так і праву частину мозку. Він не тільки повинен бути в змозі мислити нестандартно, так би мовити, але також працювати методично і систематично, а також спілкуватися зрозуміло. Дослідження, часто непередбачуваної аудиторії або ринку, також становить велику частину роботи дизайнера. Пол Ренд, майстер американського дизайну, який розробив знаменитий логотип IBM, характеризує дизайн наступним чином: «Дизайн - це набагато більше, ніж просто збирати, замовляти або навіть редагувати; це додати цінність і значення, щоб висвітлити, спростити, уточнити, змінити, щоб гідно оцінити, драматизувати, переконати і, можливо, навіть розважити. Дизайн - це перетворити прозу в поезію. Дизайн розширює сприйняття, збільшує досвід, і покращує зір. Дизайн - це продукт почуття і усвідомлення ідей які беруть початок в думках дизайнера і, як ми сподіваємося, в кінці глядача» [6].

Процес комунікаційного дизайну включає в себе стратегічне ділове мислення, використання ринкових досліджень, креативність, рішення проблем, а також технічні навички і знання, такі як теорія кольору, макет сторінки, друкарня і створення візуальних ієархій. Дизайнери комунікацій транслюють ідеї та інформацію за допомогою різних засобів масової інформації. Їх особливі таланти полягають не тільки в традиційних уміннях, а й в умінні стратегічно мислити з точки зору дизайну і маркетингу, щоб завоювати довіру і вплинути на аудиторію за допомогою спілкування. Навички дизайну

адаптуються до різних культур людей, зберігаючи при цьому прийнятний візуальний дизайн.

Вбачаючи незаперечну необхідність володіння кожного комунікативними навичками актуальними сьогодні і післязавтра, в освітню програму підготовки бакалаврів «Промислова естетика і сертифікація виробничого обладнання» спеціальності 132 Матеріалознавство включено дисципліну «Комунікативний дизайн». Дисципліна формує soft i digital skills через набуття результатів навчання - розроблення візуальних матеріалів за допомогою яких можливо зрозуміло і недвозначно доносити власні знання, висновки та пояснення з проблем; складати звітну документацію за результатами робіт з виконання професійних) задач, підготовки публікацій, доповідей та презентацій за результатами виконаних досліджень.

Студенти в рамках комунікаційного дизайну вчяться створювати візуальні повідомлення і транслювати їх в світ новими і осмисленими способами. У складному цифровому середовищі навколо нас комунікаційний дизайн став потужним засобом охоплення цільової аудиторії. Студенти вчяться поєднувати спілкування з мистецтвом і технологіями.

Ця дисципліна передає інформацію людям, які використовують візуальні і невізуальні засоби масової інформації, і охоплює широкий спектр аналогових і цифрових інструментів і методів. Комунікаційний дизайн використовує інший набір навичок, додатків, практик і функцій, ніж ті, які використовуються в інших дисциплінах проектування. Його основна структура фокусується на командній роботі, на проектах, клієнт-орієнтованих проектах, соціальних взаємодіях і творчій співпраці.

Висновки. Покоління Z, «Альфа» і інтернет - речі нерозривно пов'язані. І щоб відповісти мобільним запитам підростаючого майбутнього, змінюватися потрібно вже зараз. Актуальними напрямками змін сьогодні є формування soft i digital skills, а саме набуття комунікативних навичок визнаних найважливішою якістю фахівця будь-якої сфери діяльності. Саме комунікативний дизайн – гармонійне поєднання технологій і чуттєвого сприйняття, покликаний сформувати затребувані навички сьогодення і майбутнього.

ЛІТЕРАТУРА

1. Абашкина О. Soft skills: ключ к карьере / О. Абашкина. – Режим доступа: <http://www.pro-personal.ru/journal/303/7811/>
2. Klaus P. The hard truth about soft skills : Workplace Lessons Smart People Wish They'd Learned Sooner / P. Klaus. – New York : Harper Collins Publishers, 2007. – 190 р
3. Андреева Анастасия. Люди будущего: какие они / А. Андреева — дети поколения Z и «Альфа»? – Режим доступу: <https://www.rbc.ru/trends/futurology/5dfcabbf9a7947a532b7f9a5>

4. Забудьте про милениалов. Поколение Альфа уже здесь. – Режим доступу: https://mmr.ua/show/zabudyte_pro_milenialov_pokolenie_alyfa_uzhe_zdesy

5. Соловьева Ольга. Поколение Альфа: почему брендам необходимо уже менять мышление/ О. Соловьева – Режим доступу:

<https://sostav.ua/publication/pokolenie-alfa-pochemu-brendam-neobkhodimo-uzhe-menyat-myshlenie-80176.html>

6. Ренд Пол. Дизайн форми і хаосу / П Ренд.- М.: Изд. Студии Артемия Лебедева, 2013. — 237 с.

УДК 378

ІНТЕГРАТИВНА ПІДГОТОВКА МАЙБУТНІХ ІНЖЕНЕРІВ

С.В. Подлесний¹, Ю.С. Холодняк², С.В. Капорович³

¹к.т.н., доцент, декан факультету автоматизації машинобудування та інформаційних технологій, e-mail: sergeypodlesny@gmail.com

²к.т.н., доцент, зав. кафедрою технічної механіки e-mail: holodnjak.yuri@gmail.com

³ к.т.н., ст. викладач кафедри технічної механіки, e-mail: kaporovych@gmail.com

^{1, 2, 3} Донбаська державна машинобудівна академія, г. Краматорськ, Україна

Анотація. В основі сучасних технологій лежать міждисциплінарні дослідження, що визначають необхідність інтегративної підготовки інженерів до інноваційної діяльності. Сформульовані вимоги до інноваційних інженерів і обґрунтований комплексний підхід до формування інженерних компетенцій. Задовільнити реальні потреби роботодавців в компетентних фахівцях дозволить реалізація багаторівневого компетентнісного підходу на основі принципу «від вузькоспеціалізованих кваліфікацій до компетенцій світового рівня» з орієнтацією на вирішення актуальних науково-задань в промисловості. Намічено вектор подальшого розвитку Донбаської державної машинобудівної академії як центру технологічного розвитку півночі Донбасу. Точками зростання є міждисциплінарність, комерціалізація знань, створення системи трансферу технологій та інкубатор стартапів і техностартеров.

Ключові слова: економіка знань, інноваційна інженерна діяльність, інженерна освіта, інноваційний інженер, інтеграційна підготовка, міждисциплінарні знання.

INTEGRATIVE TRAINING OF FUTURE ENGINEERS

Sergey Podlesny¹, Yuri Kholodniak², Kaporovych Svitlana³

¹Ph.D., Associate Professor, Dean of the Faculty of Automation Engineering and Information Technology, e-mail: sergeypodlesny@gmail.com

²Ph.D., Associate Professor, Head of Technical Mechanics Department, e-mail: holodnjak.juri@gmail.com

³Ph.D., Senior Lecturer of Technical Mechanics Department, e-mail: kaporovych@gmail.com

^{1,2,3} Donbass State Engineering Academy, Kramatorsk, Ukraine

Abstract. Modern technologies are based on interdisciplinary studies that determine the need for integrative training of engineers for innovation. The requirements for innovative engineers are formulated and a comprehensive approach to the formation of engineering competencies is substantiated. To meet the real needs of employers in competent specialists will allow the implementation of a multi-level competence approach based on the principle of "from highly specialized qualifications to world-class competencies" with the focus on solving topical science-intensive tasks in industry. The vector of further development of Donbass State Engineering Academy as the center of technological development of the north of Donbass. We consider interdisciplinarity, the commercialization of knowledge, the creation of technology transfer systems, and the incubator of startups and techno-starters as growth points.

Keywords: knowledge economy, innovative engineering activity, engineering education, innovative engineer, integrative training, interdisciplinary knowledge.

Введення. Існують різні точки зору на процес постіндустріального розвитку, немає єдності і в поглядах на формування сучасної парадигми організації суспільства. Паралельно функціонують і доповнюють один одного такі концепції: «постіндустріального суспільства», основоположником якої прийнято вважати американського вченого Д. Белла; «Інформаційного суспільства», вперше сформульована М. Поратом, а в подальшому розгорнута М. Кастельсом; «Економіки знань», піонером якої є Ф.Махлуп [1]; «Глобального мережевого суспільства», сформульована Б. Гейтсом. Саме становлення інноваційної економіки знань розглядається сьогодні як провідна світова тенденція суспільного розвитку в умовах постійно прискорення змін. Завдання створення інноваційної економіки знань, високих технологій і наукомістких виробництв стає загальнозвінаним [2]. Потрібно створювати «економіку, генеруючу і застосовуючу наукоємні інновації».

Серед загальносвітових трендів в даний час виділяють: глобалізацію ринків та сконкуренцію, що вимагають набагато більш швидких темпів розвитку, мінімальних цін при максимальній якості [3, 4]; інтенсивне поширення інформаційно-комунікаційних технологій і наукомістких комп'ютерних технологій, нанотехнологій; появу надскладних проблем («мегапроблем»), які не можуть бути вирішені на основі традиційних підходів; зближення секторів і галузей економіки, розмивання меж фундаментальної і прикладної науки з огляду на необхідність вирішення комплексних науково-технічних завдань.

Шляхи досягнення творчого рівня розвитку особистості, як найвищого результату будь-якої педагогічної технології, розглядаються рядом зарубіжних та вітчизняних вчених. Серед них слід відзначити письменника-фантasta Генріха Альтшуллера (1926—1998), у творчості якого чільне місце посідає ТРВЗ — теорія розв'язання винахідницьких завдань, яка ефективно сприяє розвиткові технічної творчості загалом і творчої особистості зокрема. Нині

ТРВЗ успішно розвивається в навчальних закладах Києва, Полтави, Харкова, Рівного, Луганська та інших міст України. У м. Одесі (під керівництвом М. Меєровича і Л. Шрагіної) працює лабораторія «ТРВЗ — педагогіка України». Теоретичним джерелом технології розвитку творчої особистості є закони розвитку технічних систем, пізнання яких передбачає аналіз різноманітної патентної та науково-технічної інформації. Теоретичні основи управління інноваціями, де значне місце має посідати відповідний інтелектуальний потенціал, знайшли відображення в працях зарубіжних вчених І. Ансоффа, Х.К. Вархейна, Т. Герпотта, П. Друкера, Дж. Еванса, Ф. Котлера, Ф. Ніксона, М. Портера, Б. Санто, Б. Твісса, Р. Форстера та ін. Питанням управління інноваційними процесами присвячені роботи вітчизняних вчених: Ю.М. Бажала, А.С. Гальчинського, В.М. Геєця, В.М. Гриньової, М.І. Кизима, О.О. Лапко, П.А. Орлова, В.С. Пономаренка, П.Г. Перерви, Л.І. Федулової, Д.М. Черваньова, А.І. Яковлева, а також учених країн СНД – С.В. Валдайцева, С.Ю. Глазьєва, П.Н. Завліна, С.Д. Ільїнкової, А.К. Казанцева, Н.І. Лапіна, Л.Е. Мінделлі, В.Г. Мединського, Е.А. Уткіна, Р.А. Фатхутдінова. Питання інтерактивної технології у навчальному процесі розглядаються вітчизняними й зарубіжними дослідниками, серед яких: Кирпичев В.Л., Кондратьєв В.В., Тимошенко С.П., Кабанова Л. В., Шабанова (Дунаєва) Ольга, Стівен Доунс, Тоні Каррер, Тихомірова Олена та ін. Досвід розвитку сучасних освітніх технологій, використання інформаційно-комунікаційних технологій породжують як нові методичні завдання, так і нові можливості.

Мета роботи. Розробка парадигми інноваційної інженерної діяльності, яка змінює роль інженера і модель інженерної освіти на основі сучасних технологій, міждисциплінарних досліджень, що визначають необхідність інтегративної підготовки інженерів до інноваційної діяльності, сформувати вимоги до інноваційних інженерів і обґрунтувати комплексний підхід до формування інженерних компетенцій.

Матеріал і результати досліджень. Виходячи з концепції розвитку в Україні економіки знань необхідно сформувати і гармонійно розвивати єдиний національний комплекс «Освіта - Наука - Промисловість - Інновації», де інновації виступають в якості прискорювача інтеграції досягнень в освіті, науці та промисловості. Серед існуючих потенційних можливостей головна увага приділяється розвитку якісного людського капіталу та високотехнологічному виробництву з метою досягнення рівня ВВП України в розмірі 20 тис. дол. США на одну особу в довгостроковій перспективі до 2030 р. [5]. Серед інших індикаторів авторами [5] прогнозується:

1. Глобальний індекс креативності (Global Creativity Index, Martin Prosperity Institute, Університет Торонто): підвищення рейтингу України з 45 рейтингової позиції до ТОП-20 країн.

2. Глобальний інноваційний індекс (Global Innovation Index, Школа бізнесу INSEAD, ВОІВ і Корнельський університет): покращення значень України від 64 рейтингової позиції до ТОП-30 країн світу.

3. Зростання патентної активності (Patent activity, Bloomberg): з 27 місця у світі увійти до ТОП-10 країн – світових лідерів.

Суспільству потрібна інтелектуально й соціально компетентна особистість, здатна критично мислити, творчо діяти, застосовувати набуті знання в нестандартних ситуаціях. Становлення особистості починається зі школи, де завдання педагога «якомога раніше виявити, розпізнати природні нахили учня, розвинути їх і дати поштовх до самореалізації творчої особистості». Для формування такої особистості мають використовуватися у навчально-виховному процесі інноваційні методи, прийоми навчання, завдання і вправи, які спонукали б молодь до творчої діяльності. Творчою вважається продуктивна, самостійна, цілеспрямована діяльність учня, студента, у процесі якої учень, студент комбінує, змінює чи створює щось нове на доступному для нього рівні. І найкращим способом виявлення особистості є творчі роботи учнів, наукові праці студентів. Основними показниками творчості в цьому випадку є самостійність, ініціативність, активність, а результатом творчої самостійної діяльності - якісно нові цінності учня, студента, людини. Важливим у цьому напрямі є застосування у роботі педагога методів і прийомів, які спонукали б молодь до творчого, неординарного мислення: навчальні семінари, диспути, учнівські й студентські конференції, конкурси на кращі твори, літературні вечори, студентська літературна газета тощо. У процесі проведення навчальних занять останнім часом значна увага приділяється вибору індивідуальних прийомів, форм і засобів подачі навчального матеріалу. Для підготовки спеціалістів у навчальному процесі застосовуються інтерактивні технології, які на сучасному етапі, як відзначається в, стають новим освітнім стандартом. При використанні інтерактивних методів та засобів навчання важливим є готовність викладачів до здійснення інтерактивного навчання, психологічний аспект, технічна поінформованість, технічне забезпечення інтерактивними засобами навчання. Активне навчання потребує залучення студентів у навчальний процес. Широке застосування мультимедійних технологій здатне різко підвищити ефективність активних методів навчання для всіх форм організації навчального процесу: на етапі самостійної підготовки студентів, на лекціях, на семінарських, практичних та лабораторних заняттях. Одними із основних можливостей і переваг засобів мультимедіа у разі їх застосування у навчальному процесі є одночасне використання декількох каналів сприйняття студента в процесі навчання, за рахунок чого досягається інтеграція інформації, що доставляється різними органами чуттів.

Об'єктивна необхідність технологічних інновацій для забезпечення конкурентоспроможності економіки та національної безпеки вимагає нових пріоритетів для інженерної діяльності. Тісна взаємодія і взаємопроникнення фундаментальних і прикладних досліджень, міждисциплінарний характер нових науковімних технологій, що дозволяють вирішувати комплексні завдання в різних областях, вимагають нових парадигм інженерної діяльності. Серйозний вплив на зміну ролі інженера в високотехнологічній промисловості здійснюють глобалізація, суперконкуренція, складна демографічна ситуація і збільшення частки мультидисциплінарних досліджень, стрімкий розвиток і ускладнення наукомістких технологій. Глобальна економіка знань передбачає, що сучасний інженер володіє широким спектром ключових компетенцій, а не тільки знаннями вузькоспеціалізованих науково-технічних і інженерних дисциплін, що якісно змінює характер інженерної освіти. Інноваційні технології, комплексні наукові мегапроблеми і реалізація нових парадигм вимагають створення мультидисциплінарних команд фахівців, що володіють ключовими компетенціями світового рівня з широкого спектру напрямків, а не тільки в рамках традиційних інженерних дисциплін.

Саме оновлення методології та змісту інженерної освіти на основі тенденцій і підходів сучасного науковімного інжинірингу та інноваційної економіки знань необхідно відзначити в якості головних умов переходу до інноваційної інженерної освіти. Порівняння кращих вітчизняних і зарубіжних освітніх програм, кращих практик (інженерна підготовка через виконання на старших курсах реальних НДР на замовлення промислових підприємств і ін.). Інтеграція сучасних досягнень науки і техніки, передових промислових технологій, результатів виконаних НДР, а також ідей і підходів світових лідерів в зміст курсів і практикумів - все це повинно сприяти розвитку інноваційної інженерної освіти.

Міждисциплінарні дослідження виступають фундаментальною науковою основою технологій. Інформаційно-комунікаційні технології, науковімні комп'ютерні технології на основі результатів багаторічних між-, мульти- і трансдисциплінарних досліджень, нано-технології, NBIC-технології і т.д. сприяють стрімкому поширенню і проникненню нових між- і мультидисциплінарних знань в нові області, міжгалузевий трансфер передових «інваріантних» технологій. Саме тому вони є «конкурентними перевагами завтрашнього дня». Їх широке впровадження дозволить забезпечити інноваційний розвиток високотехнологічних підприємств української економіки.

Інноваційну інженерну діяльність (ІІД) характеризують:

- посилення творчого характеру діяльності (вміння творчо вирішувати професійні завдання, непересічно мислити, швидко орієнтуватися у великих обсягах інформації в умовах обмеженого часу);

- інтеграція інженерних функцій і видів діяльності (ефективне поєднання різnobічних інженерних функцій: винахідництва, конструювання, проектування, організації виробництва та ін.);
- ефективна міжпрофесійна комунікація (готовність до ефективної роботи в команді з представниками інших професій і галузей виробництва);
- орієнтація на потреби ринку (прагнення безперервно підвищувати якість товарів і послуг, їх конкурентоспроможність, відповідність вимогам ринку).

Відмінними рисами ІД є не тільки новизна в постановці цілей і завдань, глибока змістовність і здатність свідомо змінювати і розвивати себе, робити внесок в професію, а й розробка нових концепцій змісту діяльності, педагогічних технологій, оригінальність застосування раніше відомих і використання нових методів вирішення педагогічних і інженерних задач. Інженерний діяльності властиві як технологічні, так і соціальні суперечності.

У структурі інноваційної діяльності інженера зазвичай виділяють структурні та функціональні компоненти, критерії і рівні.

До структурних компонентів належать: мотиваційний, креативний, технологічний і рефлексивний.

Функціональні компоненти включають: особистісно-мотиваційну переробка технічних проектів; прийняття рішень про використання та/або розробку матеріалів, нових методів, нових технологій; формування цілей і загальноконцептуальних підходів; планування етапів експериментальної роботи; прогнозування труднощів, протиріч, проблем, впровадження нових матеріалів, методів, технологій у виробництво; корекцію і оцінку інноваційної діяльності).

Критеріями виступають: творча сприйнятливість до інженерних інновацій, творча активність, методологічна і технологічна готовність до введення нововведень, професійна культура.

Рівні: репродуктивний, евристичний і креативний.

Відомі різні типології інженерної діяльності:

- **лінійний інженер**, організуючий роботу первинного трудового колективу і ефективно експлуатуючий сучасне обладнання;

- **інженер-технолог**, здатний забезпечити освоєння високих науково-технічних технологій та їх впровадження у виробництво;

- **інженер по трансферу**, здатний забезпечити трансфер наукових ідей в технологію, організувати виробництво товарів і послуг на їх основі;

- **системний інженер**, який є носієм цілісної інженерної діяльності, здатний до творчої роботи на всіх етапах життєвого циклу створення систем – від дослідження і конструювання до розробки технології, виготовлення, доведення до споживача і забезпечення експлуатації;

- **соціотехнічний інженер**, який бере участь в розробці нової техніки і технологій, в формуванні техносфери та виробничого середовища з урахуванням соціально-гуманістичних, екологічних, психологічних, етичних і естетичних аспектів.

Зазвичай виділяють три кваліфікаційні рівні підготовки інженера:

1) **початковий**, що ґрунтуються на словесному, наочному і практичному методах навчання, які формують у майбутнього інженера базову систему знань, яка закріплюється шляхом практичних занять, виробничих практик, курсових і лабораторних робіт;

2) **прикладний**, передбачає активне і творче застосування отриманих в період навчання знань для вирішення завдань в напрямках інженерної діяльності, пов'язаних з виробництвом та наданням послуг;

3) **продуктивний**, досягається інженером, який в процесі розробки нових технічних об'єктів здатний вирішувати складні проблемні завдання на винахідницькому рівні, при цьому створення принципово нових систем, пристрійств і машин на сучасному рівні дуже часто вимагає виходу за межі традиційних науково-технічних напрямків.

З усього різноманіття вимог до інженерів взагалі і до інноваційних інженерів особливо основними слід вважати розвинений механізм прийняття технічних рішень на винахідницькому рівні, здатність знаходити необхідну інформацію та самообучатися. Саме ці якості є базовими для продуктивної трудової і творчої діяльності інженера в якості виконавця.

Можна сказати, що інноваційний інженер - це інженер продуктивного кваліфікаційного рівня, що володіє сформованим механізмом прийняття інноваційних рішень у відповідних галузях науки, техніки і технологій. Базою цього рівня кваліфікації є перш за все достатній рівень освіти в галузі точних наук і спеціальних дисциплін, володіння необхідними для роботи комп'ютерними технологіями, програмами і методами проектування, знання і використання в роботі методів пошуку інформації, системного інжинірингу та методів активізації творчого мислення. Акцент на практичному використанні отриманих знань вже в процесі навчання майбутнього інженера, а також вдосконалення системи післядипломної освіти вимагають серйозних змін в програмах і методах підготовки інженерів взагалі і інноваційних інженерів особливо.

В умовах зростаючого розриву між вимогами до випускників і якістю освіти серед світових тенденцій розвитку інженерної освіти можна виділити: фундаменталізацію та інформатизацію; технологізації і практико-орієнтованість; універсалізацію і підготовку фахівців широкого профілю; екологізацію і гармонізацію відносин з природою; гуманізацію та орієнтацію на

потреби людини; посилення економічної та правової підготовки; управлінську та психолого-педагогічну підготовку.

До трендів, які обумовлюють зміну вимог до компетенцій, можна віднести:

- становлення суспільства знань (посилення наукової складової, дослідницькі навички; володіння широким спектром ключових компетенцій, готовність до навчання протягом усього життя і до зміни власних професійних установок);

- зростання техногенних факторів в житті людства, що ведуть до ризику мегакатастроф (володіння технологіями комплексної експертизи, що інтегрують техніко-технологічну, екологічну, соціально-гуманітарну оцінку інженерних проектів);

- стрімкий розвиток і ускладнення наукомістких технологій, формування технонауки (здатність розуміти характер нових комплексних наукових мегапроблем і передбачати можливі наслідки їх розвитку та ризики для сучасного суспільства);

- збільшення частки міждисциплінарних і інтегральних досліджень, взаємопроникнення фундаментальних і прикладних досліджень, виникнення нових напрямків на стику наук (здатність вирішувати комплексні завдання в традиційних, суміжних і нових областях, виходити на нові парадигми інженерної діяльності, володіння творчим мисленням);

- поява нових глобальних інформаційних парадигм, виникнення на цій основі транснаціональних корпорацій (участь в роботі міждисциплінарних команд, що вимагає інтелектуального діапазону, володіння ключовими компетенціями світового рівня з широкого спектру напрямків науки і техніки, володіння іноземними мовами, розуміння цінності своєї та інших культур);

- вдосконалення інформаційних технологій, що впливають на самоорганізацію психічних і когнітивних процесів, які відповідають за здатність підтримувати особистісну цілісність та ідентичність (здатність передбачати слабо контролювані наслідки впровадження досягнень генної інженерії, що змінює життєві баланси природного середовища проживання людини і природи самої людини).

В сучасних умовах необхідний комплексний підхід до формування інженерних компетенцій, що базується на різних підходах і технологіях.

В даний час навчання в процесі роботи над певними проектами (проектне навчання) стає провідним способом підготовки кадрів. За чотири-шість років навчання студент бере участь в декількох реальних проектах і отримує значущі результати в ході вирішення конкретних завдань з промисловості.

Проекти виконуються спільно студентами старших курсів, аспірантами, викладачами та представниками академічних інститутів або промислових підприємств. Нові підходи в інженерній освіті дозволяють зосередитися на аналізі, дослідженні та вирішенні будь-якої конкретної проблеми, що стає відправною точкою в процесі навчання. Проблема для дослідження максимально мотивує студентів усвідомлено отримувати знання, необхідні для її вирішення, а міждисциплінарний підхід до навчання привчає студентів самостійно «добувати» знання з різних наукових областей, групувати їх і концентрувати, поміщаючи в контекст конкретного завдання. Інженер в конкурентоспроможній команді співробітників повинен вміти ставити і вирішувати завдання різного рівня складності, пов'язані з розробкою виробів, систем або послуг, їх фінансуванням і подальшою реалізацією. Для цього, спираючись на широку наукову культуру, він повинен володіти всім спектром знань - від природнонаукових, технічних, економічних наук до соціальних і гуманітарних дисциплін. Сучасний інженер - це і професіонал, що володіє компетенціями світового рівня, і організатор, і координатор, і менеджер комплексних науково-технічних проектів.

Інтеграція зазначених підходів з урахуванням специфіки предметної області, особливостей освітнього процесу, застосуваних наукомістких інновацій, а також задоволення вимог роботодавців до якості підготовки інженерів допоможуть досягти кращих результатів в процесі формування ключових компетенцій фахівців інженерної сфери. Інноваційний інженерний проектний підхід, що інтегрує зазначені методи, - це ключ до практичного вирішення комплексних завдань промисловості. Викладачі, аспіранти і студенти в рамках міждисциплінарних команд на базі наукових і інженерних шкіл можуть спільно виконувати міждисциплінарні дослідження із застосуванням сучасних технологій і наукомісткого високотехнологічного обладнання. Задовольнити реальні потреби роботодавців в компетентних фахівцях дозволить реалізація багаторівневого компетентнісного підходу на основі принципу «від вузькоспеціалізованих кваліфікацій до компетенцій світового рівня» з орієнтацією на вирішення актуальних наукоємних завдань в промисловості. Широке впровадження методології управління повним життєвим циклом складних технологічних і технічних систем дозволить збагатити інженерну підготовку, зробивши її комплексною. В останні десятиліття підвищуються вимоги до цілісності, універсальності і широті підготовки інженера, який виявляється одночасно в ролі вченого, технічного експерта і керівника підприємства.

Висновок. Таким чином, актуальними виявляються основні положення концепції інженерної освіти, розробленої багато років тому: фундаментальне знання є знанням соціально-культурним; теоретичне природознавство

являє собою основу конструктивної діяльності людини (інженерне проектування); технічний об'єкт «живе» за законами соціуму; професія інженера - професія елітарного характеру. Сьогодні нам належить намітити вектор подальшого розвитку. ДДМА позиціонує себе як академічний центр технологічного розвитку північного регіону Донбасу. Точками зростання ми вважаємо міждисциплінарність, комерціалізацію знань, створення системи трансферу технологій та інкубатор стартапів і техностартеров.

ЛІТЕРАТУРА

1. Machlup, F. (1973). The Production and Distribution of Knowledge in the United States. Princeton: Princeton University Press, 436 p. (Russian translation: Moscow: Progress Publ., 1996, 544 p.)
2. Duderstadt, J.J. (2008). Engineering for a Changing World. A Roadmap to the Future of Engineering Practice, Research, and Education. The University of Michigan. 2008.
3. Dyakonov, H.S., Ivanov, V.G., Kondratyev, V.V. (2013) The Global Challenges in Engineering and the Engineering Training at the Research Technological University. In: 42nd International Conference on Interactive Collaborative Learning, September 25–27, 2013, Kazan, Russia, pp. 95-101.
4. Кондратьев В.В. Инженерная педагогика как основа системы подготовки преподавателей технических университетов // Высшее образование в России. 2018. № 2. С. 29–38.
5. УКРАЇНА 2030: Доктрина збалансованого розвитку. Видання друге. — Львів: Кальварія, 2017. — 164 с.

Authors Index

(Last Name / First Name / Middle Name / Page)

- Aharkov D.A., 59**
- Balaka Maxim, 86**
- Bas Konstantin, 153**
- Batus V.V., 43, 50**
- Boychenko Andriy, 86**
- Cheberyachko Serhiy, 144, 360**
- Demyanik Tatyana, 347**
- Deryugin Oleg, 144, 360**
- Dotsenko Viktoriya, 144**
- Dyakov Andrey, 17**
- Dytiuk Viktoriia, 59, 188**
- Erisov N.N., 120**
- Fakhurtdinov R., 102**
- Fartushna A., 50**
- Fedoriachenko S.O., 50, 377**
- Fedoskin V.A., 35, 120**
- Fedoskina O.V., 35, 43**
- Franchuk V.P., 123**
- Gradov A. E., 159**
- Gvozdeva I.G., 196**
- Ilyichov D.E., 248, 260, 266**
- Ilyina E.A., 159**
- Juravel Alex, 109**
- Kalashnik Anatoly, 17, 25**
- Kalgankov Ye.V., 168**
- Kaporovych Svitlana, 130, 338, 401**
- Karpukhin S., 75**
- Kholodniak Yuri, 130, 338, 401**
- Korniichuk Olena, 371**
- Kornilenko K.I., 120**
- Korotenko Yevgen, 130**
- Kostikov Alexander, 338**
- Krivda Vitaly, 153**
- Kulyabko Vladimir, 236**
- Kushniruk Natalia, 173**
- Loginova Anastasiia, 245**
- Lytvyniak Yaroslav, 83**
- Martyshkin A.I., 248, 256, 260, 266, 273, 288**
- Matsyuk Iryna, 43, 287, 381**
- Mischuk Dmytro, 86**
- Nazarenko A.V., 206**
- Nazarenko D.S., 211**
- Nedaivoda T.O., 387**
- Nedelsky Alexander, 109**
- Nikiforov Andrey, 94**
- Olishevskaya V.E., 387**
- Oliynyk Tatiana, 173**
- Pakhomova S., 75, 102**
- Patsera Sergiy, 330**
- Pavlychenko Artem, 287**
- Pismenkova T.O., 66, 377, 395**
- Podlesny Sergey, 401**
- Protsiv Vladimir, 109**
- Pustovetov Mikhail, 177**
- Pustovoi Dmytro, 347**
- Salamatin A.N., 294, 300, 307, 312**
- Savelieva Tamara, 347**
- Shachnev V.N., 227**
- Shatov S.V., 140**
- Shlyakhov Eduard, 140**
- Shvyryd O.S., 113**
- Skliar Lyudmila, 173**
- Slesarev Yu.N., 294, 300, 307, 312, 318, 324**

Telipko Alexander, 330

Tokarev Vladimir, 352

Tretyak Olena, 360

Trokoz D.A., 273

Tsonda M., 66, 113

Tverdohleb Alexander, 123, 188

Unchikova M., 75

Van E. Y., 159

Verner Ilya, 188, 330, 395

Vorontsov A.A., 196, 206, 211, 218, 222, 227

Vynogradov Borys, 47

Yehurnov O.I., 35

Yurchyshyn Igor, 83

Zaporojec Dmitry, 17

Ziborov K.A., 59, 66, 123, 377, 395

