

Міністерство освіти і науки України

Державний вищий навчальний заклад
«Приазовський державний технічний університет»
(ДВНЗ «ПДТУ»)

НАУКА ТА ВИРОБНИЦТВО

Міжвузівський тематичний збірник наукових праць

Маріуполь – Краматорськ – Харків – Запоріжжя –
Київ – Дніпро

Випуск 19

Маріуполь

2018

УДК 001:65

Наука та виробництво: міжвуз. темат. зб. наук. пр. Вип. 19 / ДВНЗ «ПДТУ». – Маріуполь, ПДТУ, 2018. – 340 с.

У цьому випуску збірника вміщено статті, присвячені теоретичним і експериментальним дослідженням проблем міцності металургійних та будівельних машин, виконаним науковими працівниками й аспірантами провідних технічних вузів і НДІ СНД. Збірник буде корисним для студентів і аспірантів металургійних і машинобудівних вишів, співробітників науково-дослідних інститутів і металургійних заводів. Статті друкуються мовою оригіналу.

Редакційна колегія

Іноземні члени редколегії

Fathy Osman Toughan – professor of steelmaking, Tabbin Institute for Metallurgical Studies, Cairo, Egypt

Patkó Gyula – professor, PhD, habilitált doktor, Hungary

Члени редколегії з інших міст

Шайко-Шайковський Олександр Геннадійович – професор, доктор технічних наук, кафедра професійної та технологічної освіти і загальної фізики, Інститут фізико-технічних та комп'ютерних наук, м. Чернівці

Засельський Володимир Йосипович – професор, доктор технічних наук, завідувач кафедри металургійного обладнання, КМІ НМетАУ, м. Кривий Ріг

Білодіденко Сергій Валентинович – професор, доктор технічних наук, завідувач кафедрою машин і агрегатів металургійного виробництва, НМетАУ, м. Дніпро

Члени редколегії з ДВНЗ «ПДТУ»

Волошин В'ячеслав Степанович – професор, доктор технічних наук

Анділахай Олександр Олександрович – професор, доктор технічних наук

Єфременко Василь Георгійович – професор, доктор технічних наук

Жежеленко Ігор Володимирович – професор, доктор технічних наук

Іщенко Анатолій Олексійович – професор, доктор технічних наук

Кухар Володимир Валентинович – професор, доктор технічних наук

Роянов В'ячеслав Олександрович – професор, доктор технічних наук

Чигарьов Валерій Васильович – професор, доктор технічних наук

Суглобов Володимир Васильович – професор, доктор технічних наук

Чейлях Олександр Петрович – професор, доктор технічних наук

Губенко Володимир Костянтинівич – професор, доктор технічних наук

Головний редактор: **Волошин В. С.**

Заступник головного редактора: **Анділахай О. О.**

Відповідальний секретар редакції: **Рассохін Д. О.**

Коректор: **Сорочан О. М.**

Адреса редакції збірника: 87500, Україна, м. Маріуполь, вул. Університетська, 7, ДВНЗ «ПДТУ», каф. «Будівництва, технічної експлуатації і реконструкції». Тел. (0629) 44-66-23, 44-66-73. E-mail: Radullik@gmail.com. +38(096)122-22-74.

Перереєстрований Державною реєстраційною службою України 26.12.2016. Свідоцтво про державну реєстрацію – серія КВ № 22493-12393ПР. Збірник входить до Переліку наукових фахових видань України, в якому можуть публікуватися основні результати дисертаційних робіт (Наказ 04.04.2018 № 326). Друкується згідно рішення Ученої Ради ДВНЗ «ПДТУ» (**протокол № 11 від 26.04.2018** р.). Видається 2 рази на рік.

© Приазовський державний технічний університет (ПДТУ), 2018

ЗМІСТ

Рябенков И. А., Новиков Ф. В., Андилахай А. А.

Определение температуры резания при финишной обработке шлифованием..... 10

Новиков Ф. В., Полянский В. И., Андилахай А. А.

Расчет и анализ параметров силовой напряженности процесса резания 21

Логвинов Ю. В.

Замкнутая фильтровентиляционная система по нейтрализации и локализации сварочного аэрозоля при наплавке..... 32

Логвинов Ю. В.

Некоторые вопросы по влиянию металлургических процессов при наплавке на СА 37

Лоза А. В., Ткачук Е. В., Рассохин Д. А., Шишкин В. В.

Оптимизация напряженного состояния головок затравок МНЛЗ..... 45

Размышляев А. Д., Агеева М. В.

К расчету численных значений индукции управляющего поперечного магнитного поля в головной части сварочной ванны 51

Сагіров Ю. Г., Суглобов В. В., Кухар В. В.

Сучасний стан та перспективи оптимізації проектування металоконструкцій порталних кранів 59

Сергиенко Ю. В., Иванов В. П.

Исследование прочности сварных рельсовых стыковых соединений с мягкой прослойкой при статическом изгибе..... 68

Суглобов В. В., Лаврик В. П., Ткачук К. В., Карабань В. А.

Центруючий пристрій стрічкового конвеєру 74

Христенко О. А.

Комплексный системный анализ технологических процессов резьбонарезания и поверхностного наноструктурирования инструмента 80

Захарова И. В., Роянов В. А., Душенин С. С.

Анализ влияния неметаллических включений и микроструктуры на качество сварных соединений стали трубного назначения 88

Роянов В. А., Коросташевский П. В., Захарова И. В., Остапенко Б. Д.

Классификация, анализ основных конструкций рекомендации по выбору флюсовых подушек стенов автоматической сварки прямолинейных стыковых соединений листовых полотнищ 98

Бурлаков В. І., Жук А. В.

Варіювання радіусу скруглення ріжучої кромки пластин при обробці їх різними абразивними матеріалами..... 106

Яценко І. В.

Покращення експлуатаційних характеристик оптичних елементів оптико-електронних приладів..... 113

Ищенко А. А., Рассохин Д. А.

Исследование стойкости полимерного материала, используемого для защиты поверхностей насосов от кавитации 124

Коваленко А. С., Годун Т. Н.

Напряженно-деформированное состояние и повреждаемость элементов строительных конструкций..... 130

Бондаренко И. С., Аврунин О. Г., Бондаренко С. И., Кревсун А. В., Сорочан Е. Н.

Опыт и перспективы исследования совместного действия магнитного поля и акустического излучения на модельные и реальные биологические объекты 138

Аксак Н. Г., Новосельцев И. В., Росинский Д. Н.

Система предоставления медицинских услуг на основе архитектуры cloud-fog-dew 150

Аврунин О. Г., Носова Я. В., Сорочан Е. Н.

Определение интенсивности испарения одоривектора во время проведения ольфактометрического исследования 160

Скляр О. И., Сорочан Е. Н.

Устройство тренировки глазодвигательных мышц глаз..... 169

Уданович Д. Г., Авер'янова Л. О.

Програмный модуль для визначення щільності трубчастих кісток людини за цифровими рентгенограмами 173

Кунак В. А.

Модель построения семантического ядра сайта 179

Филатов А. С.

Анализ методов оценки кредитоспособности заемщиков и их применение в современных системах принятия решений 184

Федосова И. В., Шимширт В. В.

CMS или framework. Что выбрать? 190

Левицкая Т. А., Бураков Р. А.

Автоматизированная обработка классических произведений для фортепиано с использованием сиамской нейронной сети 196

Федосова I. В., Бобришева О. В.

Тенденції та проблеми використання рекомендаційних систем у галузі туризму 203

Ищенко А. А., Радионенко А. В.

Трибоисследование антифрикционных полимерных материалов, применяемых для ремонта пар трения скольжения 210

Карпенко Т. М., Ищенко О. А.

Аналіз фрикційних автоколивань супорту токарно- гвинторізного верстату по напрямних з полімерного матеріалу 216

Жилінков О. О., Золотніцька О. Г.

Удосконалення системи автомобільних перевезень вантажів у морський порт 225

Жилинков А. А., Маслак А. В.

Анализ транспортно-технологического цикла доставки жидкого чугуна в кислородно-конвертерное производство 231

Бурлакова Г. Ю.

Дослідження моніторингових процесів удосконалення рівня задоволеності послугами пасажирського транспорту м. Маріуполя 239

Зинченко С. Г., Хлестова О. А., Дергаусов М. М., Хлопецкая Л. Ф.

Влияние увеличения весовых и габаритных размерений экспортно-импортной продукции на работу транспортной инфраструктуры морского порта 252

Дергаусов М. М.

Вопросы выделения вредных веществ на транспорте 260

Сенатосенко В. А.

Повышение безопасности движения при разработке количественной оценки потенциальной конфликтности транспортных потоков на перекрестке 264

Воропай В. С.

О напряжённом состоянии элементов конструкции контейнера-цистерны для несимметричного диметилгидразина..... 275

Коваленко И. В.

Основные этапы усталостного разрушения элементов судовых вспомогательных механизмов при возникновении различных концентраторов напряжений..... 282

Волошин В. С.

Современные особенности производства при существующих технологических укладах с позиций процессов отхоодообразования..... 289

Литвиненко В. П., Крючкова Е. Н., Берестовой И. О., Житаренко В. М.

Обеспечение условий регенерации тепла в процессах совершенствования работы двигателей внутреннего сгорания 297

Житаренко В. М., Медведева М. В.

Повышение эффективности использования доменного газа в парогенераторах ТЭЦ металлургических предприятий 305

Житаренко В. М., Циганов В. І., Науменко М. Д., Науменко С. Д.

Математична модель енергореновації житлових будинків 311

Маляков І. В., Бежан В. А., Житаренко В. М.

Дослідження ефективності теплообмінного обладнання котелень за допомогою САПР SolidWorks Flow Simulation..... 318

Кириченко О. В., Діброва О. С., Мотрічук Р. Б., Барановський О. С., Цибулін В. В.

Визначення вмісту високотемпературного конденсату в продуктах згорання піротехнічних нітратно-металевих сумішей при підвищених зовнішніх тисках 323

Актуальні питання виробництва..... 333

Новини України та світу 335

Вимоги до публікацій 338

CONTENTS

Ryabekov I. O., Novikov F. V., Andilahay A. A. <i>Determination of the temperature at the cutting finishing grinding</i>	10
Novikov F. V., Polyanskiy V. I., Andilahay A. A. <i>The calculation and analysis of the parameters of the power intensity of the cutting process</i>	21
Logvinov Y. V. <i>Closed filter system on neutralization and localization of welding aerosol when surfacing</i>	32
Logvinov Y. V. <i>Some questions about the influence of metallurgical processes when turning on ca</i>	37
Loza A. V., Tkachuk K. V., Rasskhin D. A., Shishkin V. V. <i>Optimization of strained state of dummy bars' heads</i>	45
Razmyshlyayev A. D., Ahieieva M. V. <i>To calculation of numerical values of induction of the controlling cross-section magnetic field in the head of the welding bath</i>	51
Sahirov Y., Suglobov V., Kukhar V. <i>Modern condition and perspectives of optimization projection of metal constructions of portal cranes</i>	59
Sergienko Yu. V., Ivanov V. P. <i>Research of strength of welded rail butting joints with soft layer in static bend</i>	68
Suglobov V. V., Lavrik V. P., Tkachuk E. V., Karaban V. A. <i>Centring device of band conveyer</i>	74
Khrystenko O. A. <i>Complex system analysis of technological processes of carrying cut and surface nanostructuring of the tool</i>	80
Zakharova I. V., Royanov V. A., Dushenin S.S . <i>Analysis of the influence of nonmetallic inclusions and microstructures on the quality of welded joints of pipe steels (review)</i>	88
Royanov V. A., Korostashevskiy P. V., Zakharova I. V., Ostapenko B. D. <i>The classing, analysis of the foundational constructions and the recommendations for the flux pillows choice of the automatic welding stendz for the sraight joints of the sheet panels weldings</i>	98
Burlakov V. I., Zhuk A. V. <i>Variation of the radius of curving cutting the edge of plates when treating their abrasive materials</i>	106
Yatsenko I. V. <i>Improving the performance characteristics of optical elements of optoelectronic devices</i>	113
Ischenko A. A., Rassokhin D. A. <i>Study of the resistance of polymer material used to protect cavitation surfaces of pumps from cavitation</i>	124

2018 р.	Вип. 19
Kovalenko A., Godun T. <i>The intense-deformed condition and damageability of elements of building constructions</i>	130
Bondarenko I. S., Avrunin O. G., Bondarenko S. I., Krevsun A. V. <i>Experience and prospects for the study of the joint action of the magnetic field and acoustic radiation on model and real biological objects</i>	138
Axak N. G., Novoseltsev I. V., Rosinskiy D. N. <i>System providing medical services based on cloud-fog-dew architecture</i>	150
Avrunin O. G., Nosova YA. V., Sorochan E. N. <i>Determination of the intensity of evaporation of the odorivator during the olfactometric examination</i>	160
Skliar O. I., Sorochan E. N. <i>Device for eye's muscle training</i>	169
Udanovych D. G., Averianova L. O. <i>Software module for determining the density of human tubular bonds on digital radiograms</i>	173
Mironenko D. S., Kunak V. A. <i>The model of building a semantic kernel</i>	179
Filatov A. S. <i>Analysis of methods for assessing the creditworthiness of borrowers and their application in modern decision-making systems</i>	184
Fedosova I. V., Shymshyrt V. V. <i>Cms or framework. What to choose?</i>	190
Levitskaya T., Burakov R. <i>Automated processing of classical piano pieces using a siamese neural network</i>	196
Fedosova I. V., Bobrysheva O. V. <i>Trends and problems of use of recommender systems in the field of tourism</i>	203
Ishchenko A. A., Radionenko A. V. <i>Tribo research of antifriction polymer materials applied for repair of sliding pairs</i>	210
Karpenko T.M., Ishchenko O.A. <i>Analysis of friction automatic surfaces of torque - guinthesized vernature sources by range of polymernal material</i>	216
Zhylinkov O. O., Zolotnitska O. G. <i>Improving the system of road transportation of cargoes into sea port</i>	225
Zhilinkov A. A., Maslak A. V. <i>Analysis of the transport-technological cycle of delivery of liquid iron into oxygen-converter production</i>	231
Burlakova G.Y. <i>Investigation of monitoring processes to improve the level of satisfaction with the services of passenger transport of mariupol</i>	239

2018 р.	Вип. 19
Zinchenko S. Khlestova O. Dergausov M. Khlopetskaya L. <i>The effect of increasing weight and size dimensions of export-import goods for transport infrastructure seaport working</i>	252
Dergausov M. M. <i>Questions of secreting of harmful substances on transport</i>	260
Senatosenko V.A. <i>Increase of safety of movement in the development of quantitative evaluation of potential conflict of transport flows at the crossroad</i>	264
Voropay V.S. <i>On the tense state of the elements of the container-tank design for asymmetric dimethylhydrazine</i>	275
Kovalenko I.V. <i>Route of the process of fatigue failure of the elements and components of marine auxiliary machinery and structures in the event of various stress raisers</i>	282
Voloshin V.S. <i>Modern peculiarities of production under existing technological instruments with the position of waste development processes</i>	289
Litvinenko V.P., Kryuchkova E.N., Berestovoy I.O., Zhitarenko V.M. <i>Ensuring the conditions of heat regeneration in the process of improving the work of engines internal combustion</i>	297
Zhytarenko V. M., Medvedieva M. V. <i>Improving the efficiency of use of blast furnace gas in the steam boilers of metallurgical enterprises</i>	305
Zhytarenko V. M., Tsiganov V. I., Naumenko M. D., Naumenko S. D. <i>Mathematical model of energy research of housing houses</i>	311
Malyakov I.V, Bezhan V.A, Zhitanenko V.M. <i>Investigation of the efficiency of heat exchanger equipment of cathodes with used assistance solidworks flow simulation</i>	318
Kirichenko O., Dybrova O., Motrychuk R., Baranovsky O., Tsybulin V. <i>Definition of content of high-temperature condensate in the combustion products of the pyrotechnic nitrate-metal mixtures at elevated pressures</i>	323
Actual production issues	333
News of Ukraine and the world	335
Requirements for publications	338

УДК 621.923

© Рябенков И. А., Новиков Ф. В., Андилахай А. А.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ РЕЗАНИЯ ПРИ ФИНИШНОЙ ОБРАБОТКЕ ШЛИФОВАНИЕМ

Получены новые аналитические зависимости для определения температуры резания при шлифовании с учетом распределения тепла, уходящего в обрабатываемую деталь и образующиеся стружки. Показано, что основная часть образующегося при многопроходном шлифовании тепла, уходит в обрабатываемую деталь. Сравнение расчетных и экспериментальных значений температуры резания при шлифовании показало высокую степень их сходимости. Даны практические рекомендации.

Ключевые слова: многопроходное шлифование, температура резания при шлифовании, поверхностный слой детали, глубина проникновения тепла, условное напряжение резания, плотность теплового потока.

Постановка проблемы. Процесс шлифования характеризуется относительно высоким уровнем энергоемкости обработки в связи с наличием трения связки круга с обрабатываемым материалом. Это увеличивает вероятность появления на обрабатываемых поверхностях деталей различных температурных дефектов, что снижает их эксплуатационные свойства. Поэтому для высококачественной обработки деталей на финишных операциях шлифования необходимо уменьшить температуру резания за счет регулирования режимами резания, характеристиками круга и другими условиями обработки. Для выявления новых технологических возможностей уменьшения температуры резания при шлифовании важно провести ее теоретический анализ с использованием новых технологических подходов к решению классического уравнения теплопроводности.

Анализ последних исследований и публикаций. Анализ литературных источников [1-3] показал, что вопросам исследования температуры резания при шлифовании уделяется значительное внимание. Большой вклад в развитие методов расчета температуры шлифования внес проф. Якимов А. В. [4]. Благодаря его разработкам в настоящее время создана математически формализованная теория теплофизики процессов шлифования, позволяющая на основе решения классического уравнения теплопроводности рассчитать стационарные и нестационарные тепловые поля, возникающие в обрабатываемой детали при шлифовании, и таким образом определить температуру поверхностного слоя обрабатываемой детали. Это создает объективные предпосылки установления оптимальных условий шлифования, исключающих образование на обрабатываемых поверхностях прижогов, микротрещин и других температурных дефектов.

Наряду с фундаментальными решениями дифференциального уравнения теплопроводности применительно к процессу шлифования, существуют и упрощенные инженерные решения по определению температуры резания при шлифовании [5], которые позволяют достаточно просто (фактически без потери точности расчетов) определить температуру резания при шлифовании и произвести теоретический анализ условий ее уменьшения. Основу упрощенных решений составляет расчетная схема (рис. 1 [6]), согласно которой снимаемый припуск представлен в виде пакета бесконечного множества прямолинейных адиабатических стержней, которые перерезаются шлифовальным кругом со скоростью $V_{рез}$ при его движении вдоль обрабатываемой поверхности. На рис. 1 приняты следующие обозначения: l_1 – текущее значение толщины снимаемого слоя материала, м; l_2 –

текущая глубина проникновения тепла в поверхностный слой обрабатываемой детали, м; $V_{кр}$ – скорость вращения круга, м/с.

В работе [7], в результате использования расчетной схемы, приведенной на рис. 1, получена аналитическая зависимость для определения температуры резания при шлифовании θ периферией круга (температуры поверхностного слоя детали):

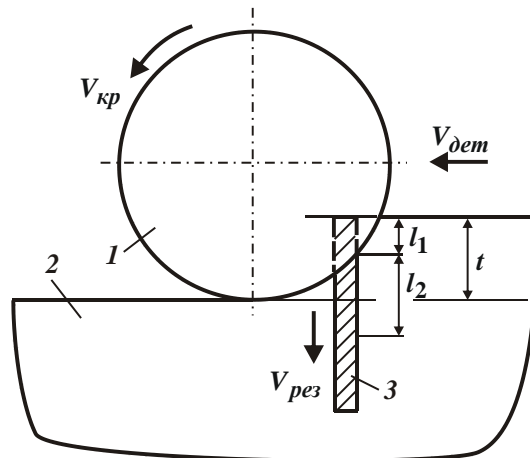


Рисунок 1 – Расчетная схема параметров плоского шлифования:
1 – круг; 2 – обрабатываемая деталь; 3 – адиабатический стержень

$$\theta = \frac{0,96 \cdot \sigma}{\lambda \cdot \sqrt{R_{кр}}} \cdot \left(1,088 \cdot \sqrt{\frac{\lambda}{c \cdot \rho}} \cdot \sqrt{R_{кр} \cdot t \cdot Q_{y\delta}} - \sqrt{t \cdot Q_{y\delta}} \right), \quad (1)$$

где σ – условное напряжение резания, Н/м²; λ – коэффициент теплопроводности материала, Вт/м·К; c – удельная теплоемкость материала, Дж/(кг·К); ρ – плотность материала, кг/м³; $R_{кр}$ – радиус шлифовального круга, м; $Q_{y\delta} = Q/B = t \cdot V_{дет}$ – удельная производительность обработки, м³/(с·м); $Q = B \cdot t \cdot V_{дет}$ – производительность обработки, м³/с; B – ширина шлифования, м; t – глубина шлифования, м; $V_{дет}$ – скорость детали, м/с.

Постоянство производительности обработки $Q = B \cdot t \cdot V_{дет}$ достигалось за счет пропорционального уменьшения скорости детали $V_{дет}$ с увеличением глубины шлифования t по зависимости $V_{дет} = Q/(B \cdot t)$. Как установлено расчетами, температура резания при шлифовании θ имеет экстремум (максимум) от переменной величины $\sqrt{t \cdot Q_{y\delta}}$ (рис. 2). Исходя из этого, уменьшить температуру резания при шлифовании θ можно за счет осуществления многопроходного (маятникового) или глубинного шлифования. Экстремальные значения температуры резания при шлифовании θ и переменной величины $\sqrt{t \cdot Q_{y\delta}}$ определяются:

$$\left(\sqrt{t \cdot Q_{y\delta}} \right)_{экстр} = \frac{0,25 \cdot \lambda \cdot \sqrt{R_{кр}}}{c \cdot \rho}; \quad (2)$$

$$\theta_{max} = \frac{0,25 \cdot \sigma}{c \cdot \rho} \quad (3)$$

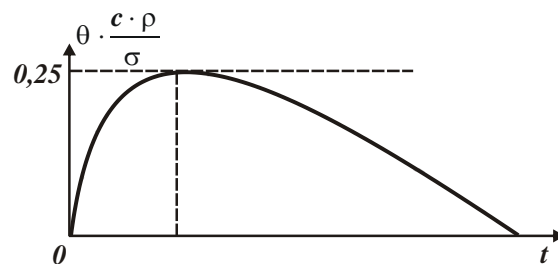


Рисунок 2 – Зависимость безразмерной величины $\theta \cdot \frac{c \cdot \rho}{\sigma}$ от глубины шлифования t .

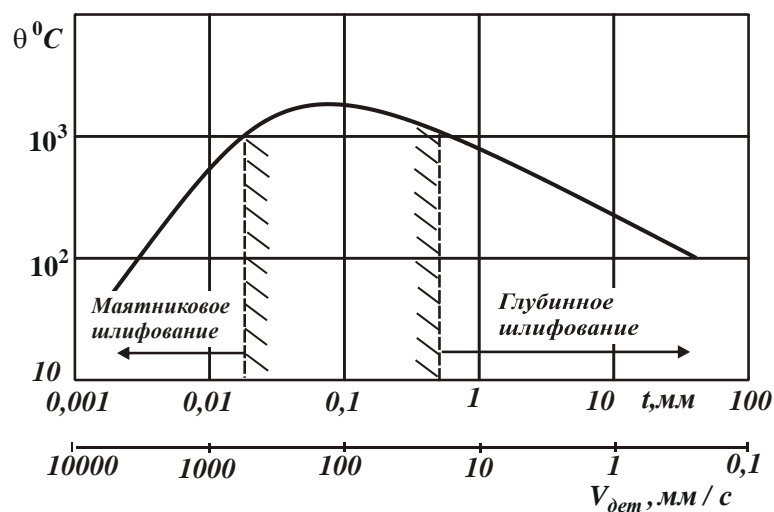


Рисунок 3 – Зависимость температуры резания при шлифовании θ от глубины шлифования t (скорости детали $v_{дет}$)

Работами американского инженера Вернера Г. [8] экспериментально установлена экстремальная зависимость температуры резания при шлифовании периферией круга от глубины шлифования t при заданной производительности обработки Q (рис. 3). Это является подтверждением правильности полученной аналитической зависимости (1). Из зависимостей (2) и (3) также вытекает, что максимальная температура резания при шлифовании θ_{max} однозначно определяется условным напряжением резания σ , а переменная величина $\sqrt{t} \cdot Q_{уд}$ - коэффициентом температуропроводности обрабатываемого материала $a = \lambda / (c \cdot \rho)$ и радиусом шлифовального круга $R_{кр}$.

Данное решение можно использовать для определения условий уменьшения температуры резания при финишной обработке по методу многопроходного шлифования. Однако для этого необходимо получить новые аналитические зависимости, позволяющие с единых позиций с учетом распределения тепла, уходящего в обрабатываемую деталь и образующиеся стружки, сравнить различные варианты финишной обработки шлифованием по температурному критерию и научно обоснованно подойти к выбору наилучшего из них.

Цель работы – повышение эффективности операций финишной обработки шлифованием на основе уменьшения температуры резания.

Изложение основного материала. Для достижения поставленной цели рассмотрен предложенный в работах [9] упрощенный теоретический подход к определению температуры резания при шлифовании. В его основу положено описание распределения тепла в бесконечно тонких адиабатических стержнях, которыми условно представлен снимаемый припуск и которые расположены перпендикулярно направлению движения шлифовального круга (рис. 4). Установлено, что, согласно классическому решению дифференциального уравнения теплопроводности в полубесконечном стержне $\frac{\partial \theta(x, \tau)}{\partial \tau} = a \cdot \frac{\partial^2 \theta(x, \tau)}{\partial x^2}$ для граничного

$$\frac{\partial \theta}{\partial x} \Big|_{x=0} = -\frac{1}{\lambda} \cdot q_0 \text{ и начального } \theta \Big|_{\tau=0} = 0 \text{ условий с учетом } z = \frac{x}{2 \cdot \sqrt{a \cdot \tau}} :$$

$$\theta(z) = 2 \cdot \sqrt{a \cdot \tau} \cdot \frac{q_0}{\lambda} \cdot \left[\frac{1}{\sqrt{\pi}} \cdot e^{-z^2} - z \cdot (1 - \operatorname{erf} z) \right]; \quad (4)$$

$$q(z) = q_0 \cdot (1 - \operatorname{erf} z), \quad (5)$$

температура $\theta(z)$ и плотность теплового потока $q(z)$ по глубине поверхностного слоя обрабатываемого материала непрерывно уменьшаются, асимптотически приближаясь к нулевому значению. Здесь x – координата, м; τ – время, с; $a = \lambda / (c \cdot \rho)$ – коэффициент температуропроводности материала, м²/с; q_0 – плотность теплового потока при $x=0$, Вт/м².

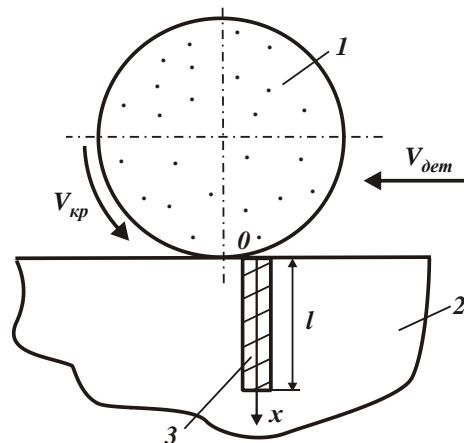


Рисунок 4 – Расчетная схема температуры резания при шлифовании:

1 – круг; 2 – деталь; 3 – адиабатический стержень.

Как видно, в данном случае глубина проникновения тепла в поверхностный слой материала бесконечна и поэтому нельзя однозначно определить истинное значение нарушенного (дефектного с точки зрения теплового воздействия) слоя обрабатываемого материала. В связи с этим предложен упрощенный подход [10] к определению температуры резания при шлифовании, основанный на задании закона распределения плотности теплового потока по глубине поверхностного слоя обрабатываемого материала. Принято, что количество тепла Q_1 , вошедшее в стержень длиной Δx за время τ , равно

$$Q_1 = q_0 \cdot S \cdot \tau, \quad (6)$$

а количество тепла Q_2 , необходимое для нагревания стержня длиной Δx до температуры θ за время τ , равно

Машинобудування і зварювальне виробництво

$$Q_2 = c \cdot \rho \cdot S \cdot \int_0^{\Delta x} \theta(x) \cdot dx, \quad (7)$$

где S – площадь поперечного сечения стержня, м.

Установлено, что для случая $q(x) = q_0 \cdot \left(1 - \frac{x}{\Delta x}\right)$ и граничного условия $\theta(x = \Delta x) = 0$ решение принимает вид

$$\theta(x) = -\frac{1}{\lambda} \cdot \int q(x) \cdot dx = \theta_{max2} \cdot \left(1 - \frac{x}{\Delta x}\right)^2. \quad (8)$$

Максимальное значение температуры шлифования:

$$\theta(x=0) = \theta_{max2} = \frac{q_0}{\lambda} \cdot \frac{\Delta x}{2} = 1,225 \cdot \frac{q_0}{\lambda} \cdot \sqrt{a \cdot \tau}. \quad (9)$$

Из условия $Q_1 = Q_2$ определяется глубина проникновения тепла в поверхностный слой обрабатываемой детали

$$l_z^* = \Delta x = 2,45 \cdot \sqrt{a \cdot \tau}. \quad (10)$$

Температура шлифования и плотность теплового потока в зависимости от безразмерной величины z принимают вид:

$$\theta(z) = 1,225 \cdot \frac{q_0}{\lambda} \cdot \sqrt{a \cdot \tau} \cdot \bar{\theta}(z); \quad (11)$$

$$q(z) = q_0 \cdot \bar{q}(z), \quad (12)$$

где $\bar{\theta}(z) = (1 - 0,816 \cdot z)^2$; $\bar{q}(z) = (1 - 0,816 \cdot z)$ – безразмерные функции температуры резания при шлифовании и плотности теплового потока.

Установлено, что для случая $q(x) = q_0$ и граничного условия $\theta(x = \Delta x) = 0$ решение принимает вид

$$\theta(x) = \theta_{max3} \cdot \left(1 - \frac{x}{\Delta x}\right). \quad (13)$$

Максимальное значение температуры резания при шлифовании:

$$\theta(x=0) = \theta_{max3} = \frac{q_0}{\lambda} \cdot \Delta x = 1,414 \cdot \frac{q_0}{\lambda} \cdot \sqrt{a \cdot \tau}. \quad (14)$$

Из условия $Q_1 = Q_2$ определяется глубина проникновения тепла в поверхностный слой обрабатываемой детали

$$l_2 = \Delta x = 1,414 \cdot \sqrt{a \cdot \tau} \quad (15)$$

Температура резания при шлифовании в зависимости от безразмерной величины z выражается:

$$\theta(z) = 1,414 \cdot \frac{q_0}{\lambda} \cdot \sqrt{a \cdot \tau} \cdot \bar{\theta}(z), \quad (16)$$

где $\bar{\theta}(z) = (1 - 1,414 \cdot z)$ – безразмерная функция температуры.

Расчеты показали, что значения максимальной температуры резания при шлифовании, полученные с использованием зависимостей (4), (11) и (16), отличаются незначительно (в пределах 15 %, рис. 5). Следовательно, используя данное упрощенное решение, можно достаточно просто рассчитать температуру резания при шлифовании и научно обоснованно подойти к выбору оптимальных условий обработки по температурному критерию.

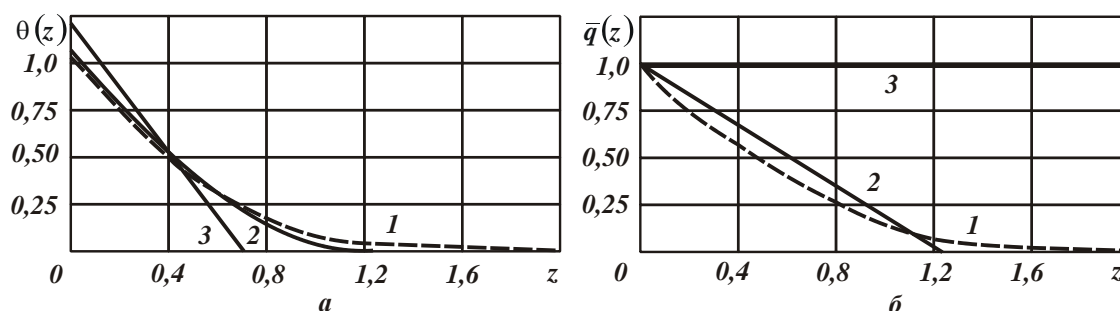


Рисунок 5 – Графики функций $\theta(z)$ (а) и $q(z)$ (б), описываемые зависимостями:

$$1 - (4) \text{ и } (5); 2 - (11) \text{ и } (12); 3 - (16) \text{ для условия } \sqrt{a \cdot \tau} \cdot \frac{q_0}{\lambda} = 1.$$

Необходимо отметить, что данное решение получено из условия, что все тепло, образующееся при плоском шлифовании периферией круга, уходит в обрабатываемую деталь. Чтобы учесть долю тепла, уходящего также в образующиеся стружки, общее количество тепла следует представить в виде двух составляющих, обусловленных отводом тепла из зоны резания в поверхностный слой обрабатываемой детали (w_1) и нагреванием стружек (w_2). Тогда $w = w_1 + w_2$.

Рассмотрим первоначально случай 3 (рис. 5 [10]), когда плотность теплового потока не изменяется по глубине поверхностного слоя обрабатываемой детали. В этом случае максимальная температура резания при шлифовании определяется аналитической зависимостью (14), а глубина проникновения тепла в поверхностный слой обрабатываемой детали – зависимостью (15). Разрешим зависимость (14) относительно плотности теплового потока

$$q_0 = \frac{\lambda \cdot \theta_{max3}}{1,414 \cdot \sqrt{a \cdot \tau}} \quad (17)$$

Тогда количество тепла, уходящего в обрабатываемую деталь w_1 , при плоском шлифовании определится

$$W_1 = q_0 \cdot F \cdot \tau = \frac{\lambda \cdot \theta_{max3} \cdot F}{1,414} \cdot \sqrt{\frac{\tau}{a}}, \quad (18)$$

где $F = B \cdot l$ – площадь контакта круга с обрабатываемой деталью, m^2 ; $l = \sqrt{2 \cdot R_{кр} \cdot t}$ – длина контакта круга с обрабатываемой деталью, м.

Количество тепла, уходящего в образующуюся стружку, равно

$$W_2 = c \cdot \rho \cdot F \cdot t \cdot \theta_{max3}. \quad (19)$$

Из условия $w = \sigma \cdot F \cdot t = w_1 + w_2$ с учетом $\tau = \frac{l}{V_{дем}} = \frac{\sqrt{2 \cdot R_{кр} \cdot t}}{V_{дем}}$, имеем

$$\theta_{max3} = \frac{\sigma}{c \cdot \rho} \cdot \frac{1}{\left(1 + \sqrt{\frac{a}{t \cdot V_{дем}}} \cdot \sqrt{\frac{R_{кр}}{2 \cdot t}}\right)} = \frac{\sigma}{c \cdot \rho} \cdot \frac{1}{\left(1 + 0,84 \cdot \sqrt{\frac{a}{t \cdot V_{дем}}} \cdot \sqrt{\frac{R_{кр}}{t}}\right)}. \quad (20)$$

Если бы все образующееся при шлифовании тепло уходило в стружки, т.е. $w_1=0$, то зависимость для определения θ_{max3} приняла бы вид $\theta_{max3} = \frac{\sigma}{c \cdot \rho}$. Следовательно, первый

множитель зависимости (20), равный $\frac{\sigma}{c \cdot \rho}$, определяет температуру нагрева образующихся

стружек, а второй множитель – долю тепла, уходящего в обрабатываемую деталь. Это вытекает также из условия, что если бы все образующееся при шлифовании тепло уходило в обрабатываемую деталь, т.е. $w_2=0$, то зависимость для определения θ_{max3} приняла бы вид

$$\theta_{max3} = \frac{\sigma}{c \cdot \rho} \cdot \sqrt{\frac{V_{дем} \cdot t}{a}} \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot t}{R_{кр}}}, \text{ который соответствует зависимости (20) без учета первого}$$

слагаемого в знаменателе, равного 1 и обусловленного наличием тепла, уходящего в образующиеся стружки.

Для исходных данных: $R_{кр} = 0,15$ м; $t = 0,01 \cdot 10^{-3}$ м; $Q_{уд} = V_{дем} \cdot t = 600$ мм²/мин = 10^{-5} м²/с; $a = 8,4 \cdot 10^{-6}$ м²/с (шлифование стали ШХ15) второй множитель зависимости (20) принимает небольшое значение, равное 0,116. Поэтому наличие второго множителя в зависимости (20) позволяет уменьшить значения θ_{max3} , что приводит в соответствие теорию и практику шлифования. Из этого можно сделать вывод о том, что основная часть образующегося при многопроходном шлифовании тепла, уходит в обрабатываемую деталь, а в образующиеся стружки уходит небольшая часть тепла. В данном случае 88,4 % тепла уходит в обрабатываемую деталь, а 11,6 % - в образующиеся стружки.

Рассмотрим теперь случай 2, показанный на рис. 5 [10], когда плотность теплового потока по глубине поверхностного слоя обрабатываемой детали уменьшается по линейному

Машинобудування і зварювальне виробництво

закону. В этом случае максимальная температура резания при шлифовании определяется аналитической зависимостью (9). Разрешим ее относительно плотности теплового потока

$$q_0 = \frac{\lambda \cdot \theta_{\max_2}}{1,225 \cdot \sqrt{a \cdot \tau}} \quad (21)$$

Тогда количество тепла, уходящего в обрабатываемую деталь w_1 , определится

$$W_1 = q_0 \cdot F \cdot \tau = \frac{\lambda \cdot \theta_{\max_2} \cdot F}{1,225} \cdot \sqrt{\frac{\tau}{a}} \quad (22)$$

Количество тепла, уходящего в образующуюся стружку, определяется зависимостью (19).

Из условия $w = \sigma \cdot F \cdot t = w_1 + w_2$ с учетом $\tau = \frac{\sqrt{2 \cdot R_{кр} \cdot t}}{V_{дем}}$, имеем

$$\theta_{\max_2} = \frac{\sigma}{c \cdot \rho} \cdot \frac{1}{\left(1 + 0,97 \cdot \sqrt{\frac{a}{t \cdot V_{дем}}} \cdot \sqrt{\frac{R_{кр}}{t}} \right)} \quad (23)$$

В количественном выражении отличие значений температуры резания при шлифовании, рассчитанных по зависимостям (20) и (23) не превышает 13 %. Это указывает на то, что характер изменения плотности теплового потока вглубь поверхностного слоя обрабатываемой детали мало влияет на характер изменения температуры вглубь поверхностного слоя обрабатываемой детали и ее абсолютные значения. Поэтому при расчете температуры резания при шлифовании можно использовать обе зависимости. С учетом доли тепла, уходящего в образующиеся стружки, расхождение значений температур резания, рассчитанных по двум зависимостям, будет небольшим – в пределах 10 %, что вполне приемлемо для практических расчетов.

Вместе с тем, отличие значений глубины l_2 , l_2^* проникновения тепла в поверхностный слой обрабатываемой детали для двух случаев, исходя из зависимостей (10) и (15), будет больше. Поэтому важно экспериментально оценить достоверность полученных теоретических решений на основе использования приведенных в научно-технической литературе экспериментальных значений l_2 . На рис. 6 [11] показан характер изменения температуры по глубине поверхностного слоя обрабатываемой детали, изготовленной из сплава ЖС6К, при плоском шлифовании для следующих условий обработки: $a = 3,73 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$; $v_{дем} = 0,1 \text{ м/с}$; $R_{кр} = 0,3 \text{ м}$. Как видно, графики изменения температуры, приведенные на рис. 5 и рис. 6, примерно одинаковые, что свидетельствует о соответствии теоретических и экспериментальных данных.

Параметр l_2 определим на основе использования аналитических зависимостей (15) и (10),

представляя их с учетом $\tau = \frac{2 \cdot \sqrt{2 \cdot R_{кр} \cdot t}}{V_{дем}}$ для плоского шлифовании в виде:

$$l_2 = 1,414 \cdot \sqrt{a \cdot \frac{2 \cdot \sqrt{2 \cdot R_{кр} \cdot t}}{V_{дем}}}; \quad (24)$$

$$l_2^* = 2,45 \cdot \sqrt{a \cdot \frac{2 \cdot \sqrt{2 \cdot R_{sp} \cdot t}}{V_{dem}}} \quad (25)$$

В табл. 1 и в табл. 2 приведены рассчитанные по зависимостям (24) и (25) значения l_2 для разных глубин шлифования t .

Таблица 1 – Расчетные значения $l_2 = \Delta x = 1,414 \cdot \sqrt{a \cdot \tau}$

t , мм	0,01	0,02	0,03
l_2 , мм	0,606	0,721	0,798

Таблица 2 Расчетные значения $l_2^* = \Delta x = 2,45 \cdot \sqrt{a \cdot \tau}$

t , мм	0,01	0,02	0,03
l_2^* , мм	1,05	1,25	1,382

Нетрудно видеть, что значения l_2^* , приведенные в табл. 2, незначительно отличаются от экспериментальных значений (рис. 6 [11]) – в пределах 10 – 15 %. Это свидетельствует о возможности использования зависимости (25) для расчета значения l_2^* , а, следовательно, и зависимостей (23) и (20) для расчета максимальной температуры при шлифовании.

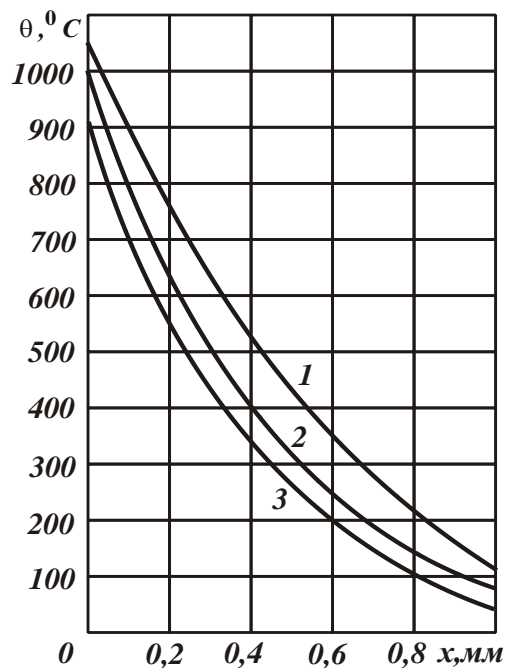


Рисунок 6 – Кривые распределения температуры по сечению тела в зависимости от глубины шлифования сплава ЖС6К:
 1 – $t=0,03$ мм; 2 – $t=0,02$ мм; 3 – $t=0,01$ мм ($v_{dem}=0,1$ м/с) [11].

Исходя из зависимости (23), основным условием уменьшения температуры резания при шлифовании θ_{max2} следует рассматривать уменьшение условного напряжения резания σ ,

Машинобудування і зварювальне виробництво

которое оказывает наибольшее влияние на θ_{max2} . При заданной удельной производительности обработки $Q_{уд} = V_{дет} \cdot t$, согласно зависимости (23), уменьшить температуру резания при шлифовании θ_{max2} можно уменьшением глубины шлифования t , т.е. применением многопроходного шлифования, что согласуется с обобщенной зависимостью (1) и свидетельствует о достоверности полученной зависимости (23).

ВЫВОДЫ

В работе на основе упрощенного подхода к расчету температуры резания при шлифовании получены новые аналитические зависимости для определения температуры резания в условиях финишной обработки по методу многопроходного шлифования с учетом распределения тепла, уходящего в обрабатываемую деталь и образующиеся стружки. Показано, что основная часть образующегося при многопроходном шлифовании тепла, уходит в обрабатываемую деталь, а в образующиеся стружки уходит небольшая часть тепла. Поэтому учет тепла, уходящего в обрабатываемую деталь, приводит в соответствие теорию и практику шлифования. Теоретически установлено, что характер изменения плотности теплового потока вглубь поверхностного слоя обрабатываемой детали несущественно влияет на абсолютные значения и характер изменения температуры резания при шлифовании, а также глубины проникновения тепла в поверхностный слой обрабатываемой детали. Это согласуется с результатами экспериментальных исследований, что свидетельствует о достоверности полученного теоретического решения и возможности его практического использования для определения оптимальных условий обработки при многопроходном шлифовании по температурному критерию. Показано, что основным условием уменьшения температуры резания при шлифовании является уменьшение условного напряжения резания, которое оказывает наибольшее влияние на температуру резания. При заданной удельной производительности обработки уменьшить температуру резания при шлифовании можно уменьшением глубины шлифования, т.е. применением многопроходного шлифования.

Список использованных источников:

1. Резников, А. Н. Теплофизика процессов механической обработки материалов / А. Н. Резников. – М. : Машиностроение, 1981. – 279 с.
2. Силин, С. С. Метод подобия при резании материалов / С. С. Силин. – М. : Машиностроение, 1979. – 152 с.
3. Евсеев, Д. Г. Формирование свойств поверхностных слоев при абразивной обработке / Д. Г. Евсеев. – Саратов : Изд-во Сарат. ун-та, 1975. – 127 с.
4. Якимов, А. В. Оптимизация процесса шлифования / А. В. Якимов. – М. : Машиностроение, 1975. – 175 с.
5. Физико-математическая теория процессов обработки материалов и технологии машиностроения : в 10 т. Т. 2 : Теплофизика резания материалов / под общ. ред. Ф. В. Новикова, А. В. Якимова. – Одесса : ОНПУ, 2003. – 625 с.
6. Новиков, Ф. В. Повышение эффективности технологии финишной обработки деталей пар трения поршневых насосов / Ф. В. Новиков, С. М. Яценко // Физические и компьютерные технологии : междунар. научно-техн. конф. (Харьков, 19–20 апреля 2007 г.). – Харьков, 2007. – С. 8–20.

Машинобудування і зварювальне виробництво

7. Кленов, О. С. Технологічне забезпечення бездефектної обробки деталей гідроапаратури на фінішних операціях : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.02.08 / Кленов Олег Станіславович. – Одеса, 2011. – 21 с.
8. Werner, G. Technologische und Konstruktive Voraussetzungen für das Tiefschleifen / G. Werner // Werkstattstechnik. – 1979. – N 10. – S. 613–620.
9. Чупров И. Ф. Уравнения математической физики с приложениями к задачам нефтедобычи и трубопроводного транспорта газа : учеб. пособие / И. Ф. Чупров, Е. А. Канева, А. А. Мордвинов. – Ухта: УГТУ, 2004. – 128 с.
10. Новиков, Ф. В. Расчет температуры шлифования с учетом неустановившегося во времени теплового процесса / Ф. В. Новиков, И. А. Рябенков, В. И. Полянский // Известия Юго-Западного гос. ун-та. – Курск, 2014. – № 1. – С. 34–38. – (Серия : Техника и технологии)
11. Ящерицын, П. И. Тепловые явления при шлифовании и свойства обработанных поверхностей / П. И. Ящерицын, А. К. Цокур, М. Л. Еременко. – Минск : Наука и техника, 1973. – 184 с.

Рябенков І. О., Новіков Ф. В., Анділахай О. О.

ВИЗНАЧЕННЯ ТЕМПЕРАТУРИ РІЗАННЯ ПРИ ФІНІШНІЙ ОБРОБЦІ ШЛІФУВАННЯМ

В роботі, на основі спрощеного підходу до розрахунку температури різання при шліфуванні, отримані нові аналітичні залежності для визначення температури різання в умовах фінішної обробки за методом багатопрохідного шліфування з урахуванням розподілу тепла, що йде в оброблювану деталь і у стружки, які утворюються. Показано, що основна частина тепла, яке утворюється при багатопрохідному шліфуванні, йде в оброблювану деталь, а у стружки йде невелика частина тепла. Тому облік тепла, що йде в оброблювану деталь, приводить у відповідність теорію і практику шліфування. Теоретично встановлено, що характер зміни щільності теплового потоку всередину поверхневого шару оброблюваної деталі несуттєво впливає на абсолютні значення і характер зміни температури різання при шліфуванні, а також глибини проникнення тепла в поверхневий шар оброблюваної деталі. Це узгоджується з результатами експериментальних досліджень глибини проникнення тепла в поверхневий шар оброблюваної деталі, що свідчить про достовірність отриманого теоретичного рішення і можливості його практичного використання для визначення оптимальних умов обробки при багатопрохідному шліфуванні по температурному критерію. Показано, що основною умовою зменшення температури різання при шліфуванні є зменшення умовної напруги різання, яка має найбільший вплив на температуру різання. Теоретично встановлено, що при заданій питомій продуктивності обробки зменшити температуру різання при шліфуванні можна зменшенням глибини шліфування, тобто застосуванням багатопрохідного шліфування. В роботі встановлено також, що на відміну від відомих рішень класичного рівняння теплопровідності при шліфуванні, коли глибина проникнення тепла в поверхневий шар матеріалу нескінченна, і у зв'язку з цим не можна однозначно визначити справжнє значення порушеного (дефектного з точки зору теплового впливу) шару оброблюваного матеріалу, в запропонованому рішенні глибина проникнення тепла в поверхневий шар матеріалу приймає кінцеве рішення.

Ключові слова: багатопрохідне шліфування, температура різання при шліфуванні, поверхневий шар деталі, глибина проникнення тепла, умовне напруження різання, щільність теплового потоку.

Ryabekov I. O., Novikov F. V., Andilayah A. A.

DETERMINATION OF THE TEMPERATURE AT THE CUTTING FINISHING GRINDING

In this paper, a new analytical dependence for determining the temperature of cutting in a finishing method multipass grinding, taking into account the distribution of the heat, leaving the workpiece and the resulting chips are obtained based on a simplified approach to the calculation of cutting temperature during grinding. It has been shown that most of the heat generated during multipass grinding, goes into the workpiece, and the resulting chip away a small part of the heat. Therefore, keeping the heat in the outgoing workpiece, resulting in matching theory and practice of grinding. Theoretically it found that the variation of the heat flux density depth of the surface layer of the workpiece insignificantly affects the absolute values and the variation of temperature during grinding of cutting and heat penetration depth into the surface layer of the workpiece. This is consistent with the results of experimental studies of heat penetration depth of the surface layer of the workpiece, which indicates the validity of the theoretical solutions and the possibility of its practical use to determine the optimum processing conditions during multi-pass grinding on the temperature criterion-tory. It is shown that the main condition for reducing the temperature of cutting when grinding is to reduce the conditional cutting voltage, which has the greatest influence on the cutting temperature. Theoretical found that when, for a given treatment reduced specific productivity for grinding cutting temperature can decrease grinding depth, i.e. application of the set-goprohodnogo grinding. The work also established that, unlike the known solutions of the classical equation of heat conduction during grinding when Glu bean heat penetration into the surface layer of the material is infinite, and therefore can not unambiguously determine the true value of the impaired (defective in terms of thermal exposure) layer treated material in the proposal-decision Gennes heat penetration depth of the surface layer of the material takes the final decision.

Keywords: *multipass grinding, cutting temperature during grinding, surface layer in detail, the depth of penetration of heat, conventional voltage-cut, the density of the heat flow.*

Рецензент: д-р техн. наук, проф. В. В. Суглобов
Статья поступила 24.06.2018 г.

УДК 621.91.01

© Новиков Ф. В., Полянский В. И., Андилахай А. А.

РАСЧЕТ И АНАЛИЗ ПАРАМЕТРОВ СИЛОВОЙ НАПРЯЖЕННОСТИ ПРОЦЕССА РЕЗАНИЯ

Показано, что применение решения о разрушении бруса под действием продольных сил, при отрицательных передних углах инструмента приводит к отрицательным значениям условного угла сдвига обрабатываемого материала и силы резания. Применение подхода, предложенного профессором Зворыкиным К. А., приводит к положительным значениям параметров силовой напряженности процесса резания. Это в большей степени отражает закономерности процесса стружкообразования при резании.

Ключевые слова: *процесс резания, резец, угол сдвига материала, сила резания, коэффициент трения, условное напряжение резания.*

Постановка проблеми. Эффективное применение в машиностроительном производстве современных металлорежущих станков с ЧПУ типа “обрабатывающий центр” и сборных конструкций твердосплавных инструментов с износостойкими покрытиями требует знания оптимальных условий обработки, обеспечивающих заданные показатели точности и качества обрабатываемых поверхностей с наименьшими энергетическими затратами. Для этого необходимо знать, как частные, так и общие закономерности формирования параметров силовой и тепловой напряженности процесса резания на основе его теоретического представления. В связи с этим в работе рассмотрены существующие подходы к расчету и анализу основных параметров процесса резания и возможности их практического использования для выбора наилучших вариантов механической обработки.

Анализ последних исследований и публикаций. С появлением новых конструкций режущих инструментов и инструментальных материалов, характеризующихся повышенными физико-механическими свойствами, постоянно возникают проблемы выбора рациональных параметров обработки, которые традиционно решаются на основе использования экспериментальных данных, поскольку до настоящего времени отсутствуют методы их аналитического определения. Это связано с чрезвычайной сложностью процесса резания и математического моделирования его закономерностей, расчета сил и температуры резания, стойкости инструмента, параметров качества и точности обрабатываемых поверхностей [1, 2].

В работе [3] расчетно-экспериментальным путем определены параметры силовой и тепловой напряженности процесса резания, что позволило выявить новые условия повышения эффективности процесса резания. Поэтому, используя этот подход, важно провести дальнейшие исследования путей уменьшения силовой напряженности процесса резания. Это позволит более обоснованно подходить к выбору рациональных параметров механической обработки с применением современных дорогостоящих режущих инструментов.

Цель работы – теоретическое обоснование условий снижения силовой напряженности процесса резания для эффективного применения в производстве современных дорогостоящих режущих инструментов.

Изложение основного материала. В работе [3] предложено условия стружкообразования в процессе резания рассматривать с позиции известного решения о разрушении бруса под действием на его торцах двух противоположных продольных сил P . Разрушение бруса в этом случае может произойти вдоль условной плоскости сдвига, расположенной под углом $\beta = 45^0$ к направлению действия сил P . Касательное напряжение τ равно пределу прочности на сдвиг материала бруса $\tau_{сдв} \approx 0,5 \cdot \sigma_{сж}$, а предельная сила $P = 2 \cdot a \cdot b \cdot \tau_{сдв} = a \cdot b \cdot \sigma_{сж}$, где a , b – толщина и ширина бруса, м; $\sigma_{сж}$ – предел прочности на сжатие материала бруса, Н/м².

Используя это решение, можно определить условия стружкообразования при резании материала (рис. 1,а). Очевидно, при резании резцом с передним углом γ , равным нулю, и отсутствии трения в зоне контакта передней поверхности резца с обрабатываемым материалом, разрушение материала произойдет в условной плоскости сдвига ОА, расположенной под углом $\beta = 45^0$ к направлению действия тангенциальной составляющей силы резания P_z .

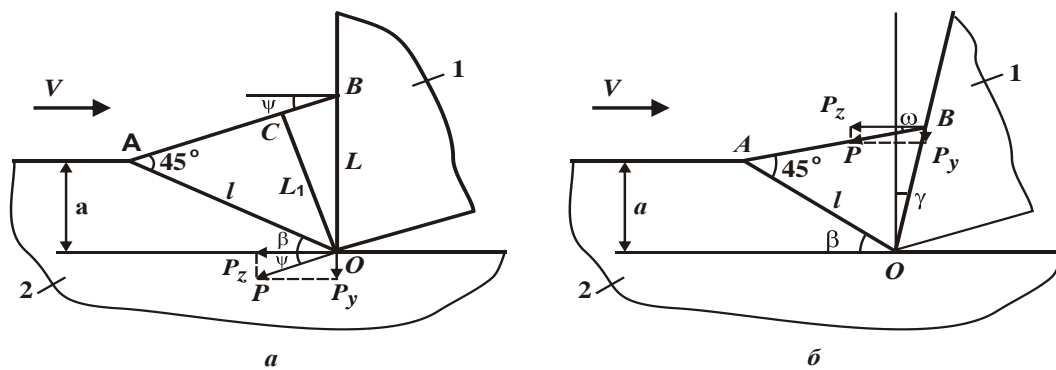


Рисунок 1 – Расчетная схема параметров процесса резания для переднего угла реза $\gamma=0$ (а) и $\gamma>0$ (б): 1 – резец; 2 – обрабатываемый материал

Если в зоне контакта передней поверхности резца с обрабатываемым материалом имеет место трение, то наряду с тангенциальной составляющей силы резания P_z возникает и радиальная составляющая силы резания P_y (рис. 1,а). В результате суммарная сила резания

$P = \sqrt{P_z^2 + P_y^2}$ будет действовать на брус под некоторым углом ψ , называемым условным углом трения инструмента с обрабатываемым материалом. Для того чтобы определить положение условной плоскости сдвига ОА в этом случае, рассматриваемый брус необходимо расположить в направлении действия силы резания P . Условный угол сдвига обрабатываемого материала β определится из условия равенства суммы углов треугольника ОАВ значению 180° . Так, угол О равен $(90^\circ - \beta)$, угол А равен 45° , а угол В равен $(90^\circ - \psi)$. Суммируя эти три угла, получено: $(90^\circ - \beta) + 45^\circ + (90^\circ - \psi) = 180^\circ$. Откуда

$$\beta = 45^\circ - \psi. \quad (1)$$

Следовательно, условный угол сдвига обрабатываемого материала β тем больше, чем меньше условный угол трения инструмента с обрабатываемым материалом ψ . При предельном значении угла $\psi = 45^\circ$ угол сдвига $\beta = 0^\circ$, т.е. угол сдвига β изменяется в пределах $0 \dots 45^\circ$.

Анализируя известную формулу профессора Зворыкина К. А.:

$$\beta = 45^\circ - \frac{(\psi - \gamma)}{2}, \quad (2)$$

полученную другим методом расчета, видно, что в этом случае при переднем угле реза $\gamma=0$ и угле $\psi = 45^\circ$ угол $\beta = 22,5^\circ$, т.е. условный угол сдвига обрабатываемого материала β изменяется лишь в пределах $22,5 \dots 45^\circ$ (рис. 2). Однако, как известно [4], в процессе резания угол β может принимать значения, значительно меньше $22,5^\circ$, например $\beta = 6^\circ$.

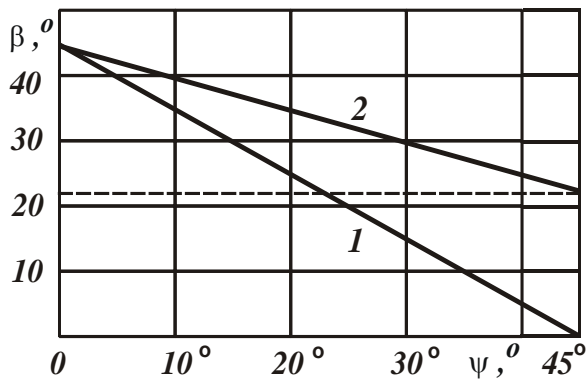


Рисунок 2 – Характер изменения угла β в зависимости от угла ψ :

- 1 – расчет по зависимости (1);
- 2 – расчет по зависимости (2)

Тогда, следуя зависимости (2), угол ψ должен принимать значения больше 45° , а коэффициент трения $f = \operatorname{tg} \psi$ – значения, большие единицы, что, естественно, физически неосуществимо. С этой точки зрения полученная зависимость (1) позволяет привести в соответствие теоретические и экспериментальные данные, т.к. условный угол трения инструмента с обрабатываемым материалом ψ всегда будет принимать значения меньше 45° , а коэффициент трения $f = \operatorname{tg} \psi$ будет всегда меньше единицы. Исходя из сказанного, зависимость (2) может быть обоснованно применима лишь при небольших значениях условного угла трения инструмента с обрабатываемым

материалом ψ и соответственно коэффициента трения $f = \operatorname{tg} \psi$.

Используя расчетную схему, приведенную на рис. 1,а, можно определить длину L пластического контакта образующей стружки с передней поверхностью резца. Рассматривая треугольник OAB , согласно теореме синусов, имеем:

$$L = \frac{0,707 \cdot a}{\sin \beta \cdot \sin(45^{\circ} + \beta)}. \quad (3)$$

Из зависимости (3) следует, что с увеличением условного угла сдвига обрабатываемого материала β длина L пластического контакта образующей стружки с передней поверхностью резца уменьшается, причем, довольно интенсивно.

Используя зависимость $P = a \cdot \sigma \cdot \sigma_{сж}$, определим силу резания P (см. рис. 1,а):

$$P = L_1 \cdot \sigma \cdot \sigma_{сж} = \frac{0,707 \cdot a \cdot \sigma \cdot \sigma_{сж}}{\sin \beta}, \quad (4)$$

где $L_1 = l \cdot \sin 45^{\circ} = \frac{a \cdot \sin 45^{\circ}}{\sin \beta}$ – условная ширина бруса, на который действует сила резания P .

В отличие от зависимости $P = a \cdot \sigma \cdot \sigma_{сж}$, в знаменатель аналогичной зависимости (4) входит дополнительный множитель $\sin \beta$. Поэтому с увеличением условного угла сдвига обрабатываемого материала β сила резания P уменьшается, что соответствует известным экспериментальным данным и указывает на достоверность полученной аналитической зависимости.

Тангенциальная составляющая силы резания P_z с учетом зависимостей $\beta = 45^{\circ} - \psi$ и $f = \operatorname{tg} \psi$ определяется:

$$P_z = P \cdot \cos \psi = a \cdot \sigma \cdot \tau_{сдв} \cdot \left(1 + \frac{1}{\operatorname{tg} \beta}\right) = 2 \cdot a \cdot \sigma \cdot \tau_{сдв} \cdot \frac{1}{(1-f)}. \quad (5)$$

В отличие от зависимости $P = a \cdot \epsilon \cdot \sigma_{сдв}$, в знаменатель зависимости (5) входит множитель $(1-f)$, который показывает, что с увеличением коэффициента трения f от 0 до 1 тангенциальная составляющая силы резания P_z увеличивается и при $f=1$ принимает бесконечное значение. По такому же закону изменяется и радиальная составляющая силы резания P_y :

$$P_y = P \cdot \sin \psi = a \cdot \epsilon \cdot \tau_{сдв} \cdot \left(\frac{1}{\operatorname{tg} \beta} - 1 \right) = 2 \cdot a \cdot \epsilon \cdot \tau_{сдв} \cdot \frac{f}{(1-f)}. \quad (6)$$

Очевидно, $P_y < P_z$, т.к. $f < 1$. Исходя из рис. 1,а, коэффициент резания равен:

$$K_{рез} = \frac{P_z}{P_y} = \frac{1}{\operatorname{tg} \psi} = \frac{1}{f} = \frac{1}{\operatorname{tg}(45^\circ - \beta)}. \quad (7)$$

Как видно, с увеличением условного угла сдвига обрабатываемого материала β коэффициент резания $K_{рез}$ увеличивается, что согласуется с экспериментальными данными. Суммарная сила резания $P = \sqrt{P_z^2 + P_y^2}$ и, соответственно, условное напряжение резания (энергоёмкость обработки) $\sigma = P_z / a \cdot \epsilon$ с учетом зависимостей (5) и (6) определяются:

$$P = \frac{2 \cdot a \cdot \epsilon \cdot \tau_{сдв} \cdot \sqrt{1+f^2}}{(1-f)}; \quad (8)$$

$$\sigma = \frac{2\tau_{сдв}}{(1-f)} = \tau_{сдв} \cdot \left(1 + \frac{1}{\operatorname{tg} \beta} \right). \quad (9)$$

Как следует из зависимостей (8) и (9), суммарная сила резания P и условное напряжение резания σ однозначно определяются коэффициентом трения f : чем он больше, тем больше P и σ . На рис. 3 приведены расчетные значения P , P_z , P_y , $K_{рез}$ и σ в зависимости от угла β во всем диапазоне его изменения для исходных данных: $a = 0,1$ мм, $\epsilon = 3$ мм, $\tau_{сдв} = 400$ Н/мм².

Машинобудування і зварювальне виробництво

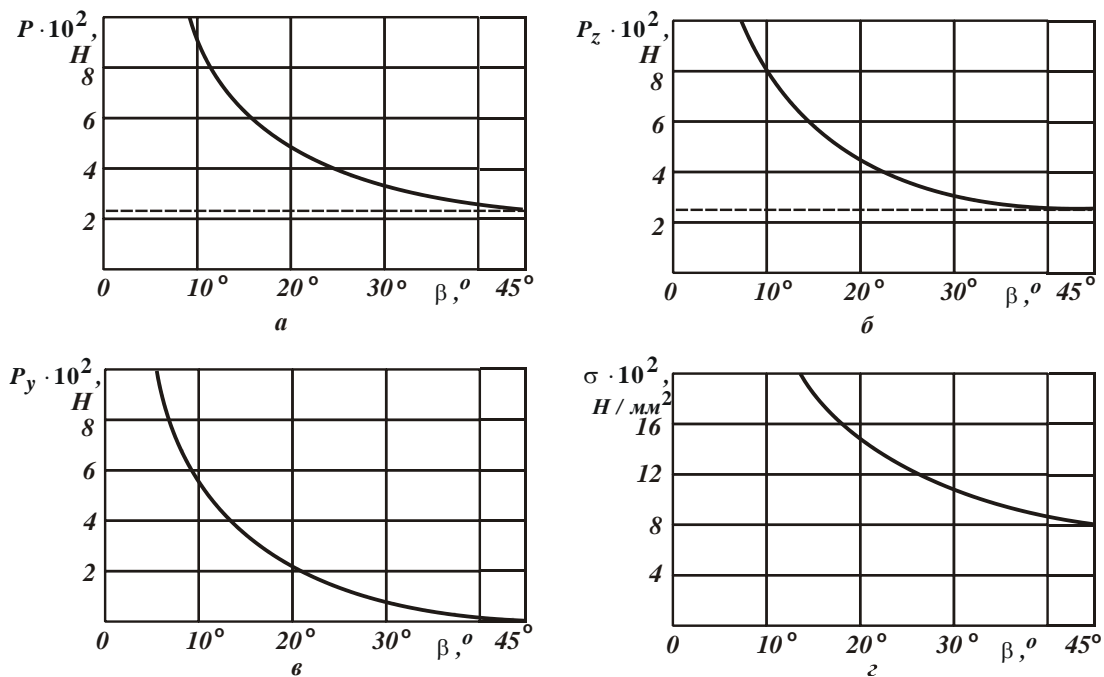


Рисунок 3 – Зависимости параметров P (а), P_z (б), P_y (в) и σ (г) от угла сдвига материала β

На рис. 4 приведены рассчитанные по зависимостям (8), (5), (6) и (9) значения параметров P , P_z , P_y , $K_{рез}$ и σ в зависимости от коэффициента трения f во всем возможном диапазоне его изменения для следующих исходных данных: $a=0,1$ мм, $\epsilon=3$ мм, $\tau_{сдв}=400$ Н/мм².

Как следует из рис. 4, с увеличением коэффициента трения f параметры P , P_z , P_y и σ увеличиваются, принимая чрезвычайно большие значения.

Параметры P_z , P_y и σ могут быть выражены через коэффициент резания $K_{рез}$, представляя его с учетом известной тригонометрической зависимости $tg(x-y) = \frac{tgx - tgy}{1 + tgx \cdot tgy}$ в виде:

$$K_{рез} = \frac{P_z}{P_y} = \frac{1}{tg \psi} = \frac{1}{tg(45^\circ - \beta)} = \frac{(1 + tg \beta)}{(1 - tg \beta)}. \quad (10)$$

Машинобудування і зварювальне виробництво

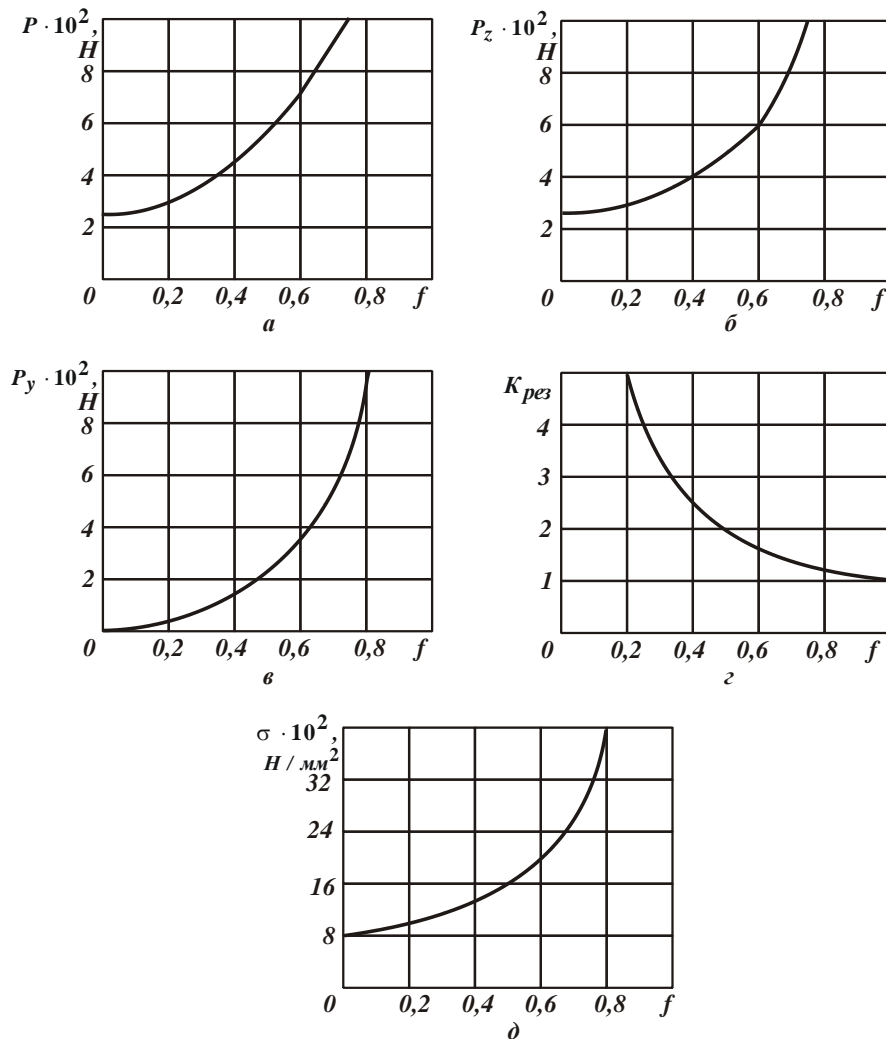


Рисунок 4 – Зависимости параметров P (а), P_z (б), P_y (в), $K_{рез}$ (г) и σ (д) от коэффициента трения f

Тогда зависимость (9) с учетом зависимости (10) выразится:

$$\sigma = \frac{2\tau_{сдв}}{\left(1 - \frac{1}{K_{рез}}\right)} = \frac{2\tau_{сдв} \cdot K_{рез}}{(K_{рез} - 1)}. \quad (11)$$

Считая, что коэффициент резания $K_{рез} > 1$, с его увеличением условное напряжение резания σ уменьшается, что согласуется с экспериментальными данными. При условии $K_{рез} \rightarrow \infty$ условное напряжение резания $\sigma \rightarrow 2\tau_{сдв} \approx \sigma_{сж}$. Это соответствует условиям разрушения прямолинейного бруса под действием продольных сил P . С учетом соотношения $P_z = a \cdot v \cdot \sigma$, имеем:

$$P_z = \frac{2 \cdot a \cdot v \cdot \tau_{сдв} \cdot K_{рез}}{(K_{рез} - 1)} = \frac{a \cdot v \cdot \sigma_{сж} \cdot K_{рез}}{(K_{рез} - 1)}; \quad (12)$$

Машинобудування і зварювальне виробництво

$$P_y = K_{рез} \cdot P_z = \frac{2 \cdot a \cdot \epsilon \cdot \tau_{сдв} \cdot K_{рез}^2}{(K_{рез} - 1)} = \frac{a \cdot \epsilon \cdot \sigma_{сж} \cdot K_{рез}^2}{(K_{рез} - 1)}. \quad (13)$$

Как видно, тангенциальная P_z и радиальная P_y составляющие силы резания изменяются по закону изменения условного напряжения резания σ , причем P_z в большей мере.

Параметры силовой напряженности процесса резания могут быть выражены через коэффициент усадки стружки K_L , используя для этого известную формулу профессора А. Н. Тиме, которая для нулевого переднего угла резца ($\gamma = 0$) упрощается и принимает вид: $tg\beta = 1/K_L$. Тогда $P = a \cdot \epsilon \cdot \tau_{сдв} \cdot \sqrt{2 \cdot (K_L^2 + 1)}$; $P_z = a \cdot \epsilon \cdot \tau_{сдв} \cdot (K_L + 1)$; $P_y = a \cdot \epsilon \cdot \tau_{сдв} \cdot (K_L - 1)$; $K_{рез} = \frac{(K_L + 1)}{(K_L - 1)}$; $\sigma = \tau_{сдв} \cdot (K_L + 1)$. На рис. 5 приведены расчетные значения P , P_z , P_y , $K_{рез}$ и σ в зависимости от K_L для исходных данных: $a = 0,1$ мм, $\epsilon = 3$ мм, $\tau_{сдв} = 400$ Н/мм².

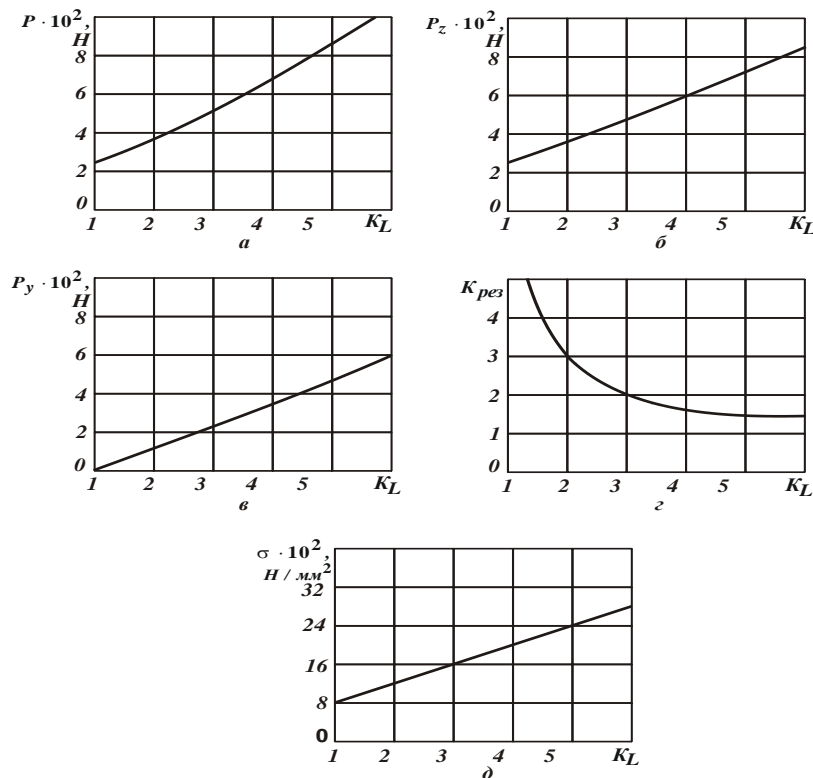


Рисунок 5 – Зависимости P (а), P_z (б), P_y (в), $K_{рез}$ (г) и σ (д) от коэффициента трения f

Как следует из рис. 5, с увеличением коэффициента усадки стружки K_L параметры

P , P_z , P_y и σ непрерывно увеличиваются, а коэффициент резания $K_{рез}$, наоборот, уменьшается. Такая закономерность обусловлена увеличением коэффициента трения f , который связан с K_L зависимостью: $K_{рез} = \frac{1}{f} = \frac{(K_L + 1)}{(K_L - 1)}$, откуда $K_L = \frac{(1 + f)}{(1 - f)} = \frac{(1 + tg\psi)}{(1 - tg\psi)}$.

Исходя из рис. 6,а, коэффициент усадки стружки K_L увеличивается с увеличением

Машинобудування і зварювальне виробництво

коэффициента трения f , принимая при условии $f=1$ бесконечное значение. Причем, в диапазоне $f=0,2 \dots 0,8$ коэффициент усадки стружки K_L принимает значения, соответствующие практическим данным.

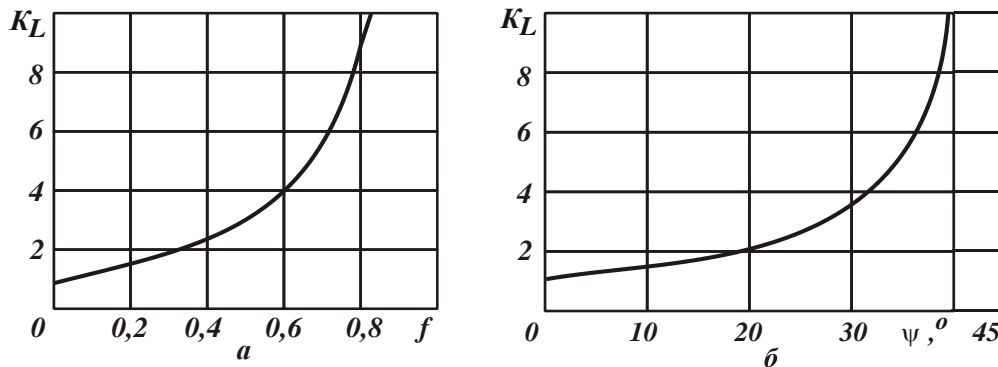


Рисунок 6 – Зависимость K_L от коэффициента трения f (а) и от угла ψ (б)

На рис. 6,б приведены расчетные значения коэффициента усадки стружки K_L . Как видно, при изменении угла ψ от 0 до 45^0 значения K_L изменяются от 1 до бесконечности.

При резании резцом с положительным передним углом ($\gamma > 0$), в расчетной схеме процесса резания (рис. 1,б) изменится лишь условный угол трения инструмента с обрабатываемым материалом ψ , который станет равным углу действия $\omega = (\psi - \gamma)$. В этом случае $\omega < \psi$. Тогда условный угол сдвига обрабатываемого материала β , тангенциальная P_z и радиальная P_y составляющие силы резания, условное напряжение резания σ опишутся зависимостями, аналогичными зависимостям, полученным для заданного угла ψ :

$$P_z = a \cdot \epsilon \cdot \tau_{сдв} \cdot \left(1 + \frac{1}{\operatorname{tg}(45^0 - \omega)} \right) = 2 \cdot a \cdot \epsilon \cdot \tau_{сдв} \cdot \frac{1}{(1 - \operatorname{tg} \omega)};$$

$$P_y = a \cdot \epsilon \cdot \tau_{сдв} \cdot \left(\frac{1}{\operatorname{tg}(45^0 - \omega)} - 1 \right) = 2 \cdot a \cdot \epsilon \cdot \tau_{сдв} \cdot \frac{\operatorname{tg} \omega}{(1 - \operatorname{tg} \omega)};$$

$$\beta = 45^0 - \omega; \quad K_{рез} = \frac{P_z}{P_y} = \frac{1}{\operatorname{tg} \omega}; \quad \sigma = \frac{2\tau_{сдв}}{(1 - \operatorname{tg} \omega)}.$$

Очевидно, уменьшение исходного угла ψ до значения ω за счет уменьшения интенсивности трения при резании и увеличения переднего угла γ приводит к увеличению угла сдвига β , уменьшению тангенциальной P_z и радиальной P_y составляющих силы резания, условного напряжения резания σ . Это объясняет эффективность увеличения переднего угла реза γ .

Из приведенных зависимостей следует, что при условии $(1 - \operatorname{tg} \omega) = 0$, т.е. при условии $\omega = 45^0$ параметры P_z , P_y и σ стремятся к бесконечности. Однако данное условие может быть

выполнимо лишь при углах $\psi = 45^0$; $\gamma = 0^0$. При угле $\gamma > 0$ это условие невыполнимо, т.к. угол $\psi \leq 45^0$, т.е. параметры P_z , P_y и σ не могут принимать бесконечные значения.

При отрицательном переднем угле резца ($\gamma < 0$) условный угол сдвига обрабатываемого материала β может принимать как положительные, так и отрицательные значения. Очевидно, при отрицательных значениях угла β составляющие силы резания P_z , P_y и условное напряжение резания σ принимают отрицательные значения. Это указывает на невозможность осуществления процесса стружкообразования и соответственно процесса резания в данных условиях. Следовательно, согласно приведенному выше теоретическому решению, процесс стружкообразования возможен при положительных и небольших отрицательных значениях переднего угла резца, т.е. при выполнении условия $\omega = (\psi + \gamma) \leq 45^0$. Например, если угол $\psi = 30^0$, то отрицательный передний угол может принимать предельное значение $\gamma = -25^0$. При большем отрицательном переднем угле резца процесс стружкообразования и процесс резания неосуществимы. Вместе с тем, практика абразивной обработки показывает, что процесс стружкообразования происходит и при значительных отрицательных передних углах режущих зерен, достигающих значения $\gamma = -45^0$ и более. Следовательно, процесс стружкообразования при резании подчиняется более сложным закономерностям и не может быть в полной мере описан приведенными выше аналитическими зависимостями, полученными для случая $\beta = 45^0 - \omega$.

Согласно формулы профессора Зворыкина К.А. (2), условный угол сдвига обрабатываемого материала β принимает положительные значения во всем возможном диапазоне изменения угла действия $\omega = 0 \dots 90^0$. Поэтому прекращение процесса стружкообразования в этом случае происходит при угле действия $\omega = 90^0$, что по сравнению со случаем $\beta = 45^0 - \omega$ в большей степени соответствует практике абразивной обработки.

ВЫВОДЫ

Рассмотрены два теоретических подхода к определению параметров силовой напряженности процесса резания, отличающихся пределами изменения условного угла сдвига обрабатываемого материала. Показано, что применение теоретического подхода, основанного на известном решении о разрушении бруса под действием продольных сил, при отрицательных передних углах инструмента приводит к отрицательным значениям условного угла сдвига обрабатываемого материала, составляющих силы резания и условного напряжения резания, что не соответствует условиям стружкообразования при резании. Применение теоретического подхода, предложенного профессором Зворыкиным К. А., приводит к положительным значениям параметров силовой напряженности процесса резания во всем возможном диапазоне изменения передних углов инструмента (включая и отрицательные значения). Это в большей степени отражает закономерности процесса стружкообразования при резании. На основе полученных аналитических зависимостей для определения составляющих силы резания и условного напряжения резания (энергоёмкости обработки) установлены условия снижения силовой напряженности процесса резания лезвийным инструментом, состоящие главным образом в уменьшении угла действия, равного разности условного угла трения инструментального и обрабатываемого материалов и переднего угла инструмента.

Список использованных источников:

1. Грановский, Г. И. Резание металлов : учебник / Г. И. Грановский, В. Г. Грановский. – М. : Высш. школа, 1985. – 304 с.
2. Бобров, В. Ф. Основы теории резания металлов / В. Ф. Бобров. – М. : Машиностроение, 1975. – 343 с.
3. Силин, С. С. Метод подобия при резании материалов / С. С. Силин. – М. : Машиностроение, 1979. – 152 с.
4. Физико-математическая теория процессов обработки материалов и технологии машиностроения : в 10 т. Т. 2 : Механика резания материалов / под общ. ред. Ф. В. Новикова, А. В. Якимова. – Одесса: ОНПУ, 2002. – 580 с.

Novikov F. V., Polyanskiy V. I., Andilahay A. A.

THE CALCULATION AND ANALYSIS OF THE PARAMETERS OF THE POWER INTENSITY OF THE CUTTING PROCESS

We consider two theoretical approaches to the definition of the parameters of the power intensity of the cutting process, characterized by changes outside the conditional shift angle of the processed material. It is shown that the application of a theoretical approach based on the well-known decision of the destruction of the beam under the influence of longitudinal forces at negative front tool angles lead to negative values of the conditional shift angle of the processed material, the components of the cutting force and conditional cutting voltage that does not correspond to chip conditions when cutting. Application of the theoretical approach proposed by Professor K.A. Zvorykin leads to positive values of the parameters of the power intensity of the cutting process in the whole range of possible changes in the front corners of the instrument (including negative values). This largely reflects the chip patterns in cutting process, especially when abrading characterized negative rake angles of the cutting grains. On the basis of analytical dependences for determining the components of cutting force and conditional voltage cutting (energy intensity processing) set conditions reduce the power intensity of the process of cutting blade tool, consisting mainly in the reduction of the angle of action equal to the difference between the conditional friction angle tool and processed materials, and the front corner of the instrument. Spend a theoretic-cal analysis of the patterns of change in the parameters of the power intensity of the cutting process, depending on the nominal angle of the shift of the processed material, the coefficient of the chip shrink, the coefficient of friction on the front face of the blade and the cutting rate, which is the ratio of the tangential and radial components of the cutting forces, and set possible limits of their change. Practical recommendations to improve the efficiency of the process of cutting blade tool.

Keywords: *the process of cutting, cutter, shear angle material cutting force, friction coefficient, a conditional power cut.*

Новіков Ф. В., Полянський В. І., Анділахай О. О.

РОЗРАХУНОК І АНАЛІЗ ПАРАМЕТРІВ СИЛОВОЇ НАПРУЖЕНОСТІ ПРОЦЕСУ РІЗАННЯ

Розглянуто два теоретичних підходи до визначення параметрів силової напруженості процесу різання, що відрізняються межами зміни умовного кута зсуву

Машинобудування і зварювальне виробництво

оброблюваного матеріалу. Показано, що застосування теоретичного підходу, заснованого на відомому рішенні про руйнування бруса під дією поздовжніх сил, при негативних передніх кутах інструменту призводить до негативних значень умовного кута зсуву оброблюваного матеріалу, складових сили різання і умовної напруги різання, що не відповідає умовам стружкоутворення при різанні. Застосування теоретичного підходу, запропонованого професором К. А. Зворикіним, призводить до позитивних значень параметрів силової напруженості процесу різання в усьому можливому діапазоні зміни передніх кутів інструменту (включаючи і негативні значення). Це більшою мірою відображає закономірності процесу стружкоутворення при різанні, особливо при абразивній обробці, яка характеризується негативними передніми кутами ріжучих зерен. На основі отриманих аналітичних залежностей для визначення складових сили різання і умовної напруги різання (енергоємності обробки) встановлені умови зниження силової напруженості процесу різання лезовим інструментом, що складаються головним чином в зменшенні кута дії, рівного різниці умовного кута тертя інструментального та оброблюваного матеріалів і переднього кута інструмента. Проведено теоретичний аналіз закономірностей зміни параметрів силової напруженості процесу різання в залежності від умовного кута зсуву оброблюваного матеріалу, коефіцієнта усадки стружки, коефіцієнта тертя на передній поверхні різця і коефіцієнта різання, рівного відношенню тангенціальної і радіальної складових сили різання, і встановлено можливі межі їх зміни. Надані практичні рекомендації щодо підвищення ефективності процесу різання лезовим інструментом.

Ключові слова: процес різання, різець, кут зсуву оброблюваного матеріалу, сила різання, коефіцієнт тертя, умовна напруга різання.

Рецензент: д-р техн. наук, проф. В. В. Суглобов

Стаття постуила 4.08.2018 г.

УДК 621.791.92

Логвинов Ю. В.

ЗАМКНУТАЯ ФИЛЬТРОВЕНТИЛЯЦИОННАЯ СИСТЕМА ПО НЕЙТРАЛИЗАЦИИ И ЛОКАЛИЗАЦИИ СВАРОЧНОГО АЭРОЗОЛЯ ПРИ НАПЛАВКЕ

В статье рассмотрены вопросы создания замкнутой фильтровентиляционной системы по локализации и нейтрализации сварочного аэрозоля при наплавке согласно международным требованиям по выбросу в атмосферу вредных веществ.

Цель статьи - провести исследования по созданию замкнутой фильтровентиляционной системы выявить оптимальные технические решения и предложить решение как избавиться от ТССА и ГССА значительно улучшить условия труда при наплавке. Необходимо не просто уловить СА, а отфильтровать в замкнутой системе, очистить и подать отфильтрованный чистый воздух в зону наплавки, при этом не должны быть нарушены технология и металлургические свойства процесса наплавки с учетом международных стандартов ISO и требований и нормативов Евросоюза.

Ключевые слова: локализации и нейтрализации, вредные вещества, формализация, общности, новые технологии.

Постановка проблемы: Актуальность вопросов по созданию замкнутой фильтровентиляционной системы (ЗФВС) по нейтрализации и локализации сварочного аэрозоля при наплавке не вызывает сомнений и требует постоянного исследования и анализа.

Впервые предложена технология по очистке газообразной составляющей сварочного аэрозоля (ГССА) и твердой составляющей сварочного аэрозоля (ТССА) в замкнутой системе, локализации и нейтрализации сварочного аэрозоля и подачи очищенного воздуха в зону наплавки, множественными циклами.

Анализ последних исследований и публикаций. В работе [1] представлены фильтровентиляционные системы. Они, к сожалению, плохо решают очистку от ГССА. Необходимо разработать, как замкнутую систему без выброса СА в атмосферу, так и улавливания ТССА и ГССА, при этом сохранив металлургические составляющие при формировании наплавочного шва.

В работах [1-2] различных зарубежных аналогов строились на фильтрации и вентиляции и выбросы в атмосферу ТССА и ГССА.

Необходимо разработать, как замкнутую систему без выброса в атмосферу, так и уловить и нейтрализовать ТССА и ГССА при этом не навредив металлургическим составом при формировании наплавочного шва.

Весомый вклад в решение этой проблемы внесли Р. Уайло-Грей, К. Гринк, В. Лейн, а также отечественные исследователи, В. В. Чигарев, О. Г. Левченко, К. А. Олейниченко, Б. И. Носовский.

Цель статьи – провести исследования по созданию замкнутой фильтровентиляционной системы выявить оптимальные технические решения и предложить решение как избавиться от ТССА и ГССА значительно улучшить условия труда при наплавке с учётом международных стандартов ISO и требований, и нормативов Евросоюза.

В публикации предложена ЗФВС также разработана новая концепция очистки ТССА и ГССА, позволяющая использовать ограниченное количество воздуха за счет многократного его прокачивания по замкнутой системе вентиляции, которая отвечает требованиям по выбросу в атмосферу вредных веществ согласно Киотскому протокола. Необходимо не просто уловить СА, а отфильтровать в замкнутой системе, очистить и подать отфильтрованный чистый воздух в зону наплавки, при этом не должны быть нарушены технология и металлургические свойства процесса наплавки.

Изложение основного материала. Ставится вопрос о создании новейших технологий для очистки от вредных веществ и СА, разработки соответствующих устройств и фильтров. Основными вредными веществами при наплавке являются ТССА и ГССА. Предлагаемое устройство простое и надежное в эксплуатации. Замкнутая фильтровентиляционная система состоит из 3^х фильтров:

- механический;
- электрический;
- химический (сорбционный).

Остановимся детально на механическом и электрическом фильтре. Принцип действия механических фильтров основан на осаждении загрязненных частиц аэрозоля на сите. На первой стадии с помощью сетчатого металлического фильтрующего элемента (сита) улавливают крупные частицы.

На второй стадии используют ультразвуковую коагуляцию.

Одно из наиболее интересных свойств аэрозолей – их непрерывная и самопроизвольная коагуляция. Коагуляция (от лат. coagulatio – свёртывание, сгущение), слипание частиц коллоидной системы при их столкновениях в процессе теплового (броуновского) движения, перемешивания или направленного перемещения во внешнем силовом поле [1-2].

В результате коагуляции образуются агрегаты – более крупные (вторичные) частицы, состоящие из скопления более мелких (первичных).

Суть ультразвуковой коагуляции в предварительном укрупнении аэрозольных частиц, облегчающих их улавливания с помощью обычных сит.

Аппарат состоит из генератора звука, коагуляционной камеры и осадителя.

Процесс акустической коагуляции зависит от следующих факторов:

- совместное колебание частиц и газа (ортокинетическая коагуляция);
- давление звукового излучения;
- гидродинамические силы притягивания и отталкивания частиц.

Оптимальными условиями процесса акустического осаждения являются:

- частота звуковых колебаний 1-4 кГц;
- концентрация частиц размером 1-10 мкм от 2 до 200г/м³

Нужно отметить, что для того, чтобы частицы могли коагулировать, они должны находиться на близком расстоянии друг от друга; поэтому необходима высокая концентрация аэрозоля, не менее 2 г/м³ (для частиц диаметром 1-10 мкм). В процессе агломерации и ортокинетической коагуляции мелких частиц образуются агрегаты - более крупные частицы.

Следовательно, в результате анализа вышеприведенных механических фильтров была предложена новая конструкция механического фильтра на рис. 1. с учетом ограничений размеров наплавочного участка и удобства эксплуатации и удаления и сбора пыли и включений в контейнер.

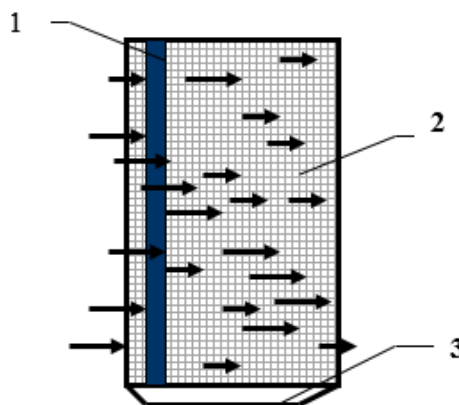


Рисунок 1 – Конструктивная схема механического фильтра

- 1 – устройство ультразвуковой коагуляции; 2 – сетка механического фильтра;
3 – контейнер для сбора пыли и включений.

Рассмотрим подробно электрические фильтры (электростатические) их принцип действия происходит под действием электрических сил основан на явлении ионизации газовых молекул электрическим зарядом в электрическом поле. Частицам сообщается электрический заряд, и они под действием электрического поля осаждаются из газового потока.

Если такой газ, содержит некоторое количество носителей зарядов, поместить между электродами, соединенными с источником высокого напряжения, то ионы и электроны начнут двигаться по силовым линиям поля. Это важно при нейтрализации ГССА.

Процесс обеспыливания в электрофильтре состоит из следующих стадий: пылевые частицы, проходя с потоком газа электрическое поле, получают заряд; заряженные частицы перемещаются к электродам с противоположным знаком; осаждаются на этих электродах; удаляется пыль, осевшая на электродах.

Машинобудування і зварювальне виробництво

На практиці зарядка частиц досягається пропусканням частиц через корону постійного тока между электродами электрофильтра.

Общий вид электрофильтра приведен на рис. 2.

Основными элементами электрофильтра являются коронирующий и осадительный электроды. Первый электрод в простейшем виде представляет собой проволоку, натянутую в трубке или между пластинами, второй - представляет собой поверхность трубки или пластины, окружающей коронирующий электрод (рис. 2).

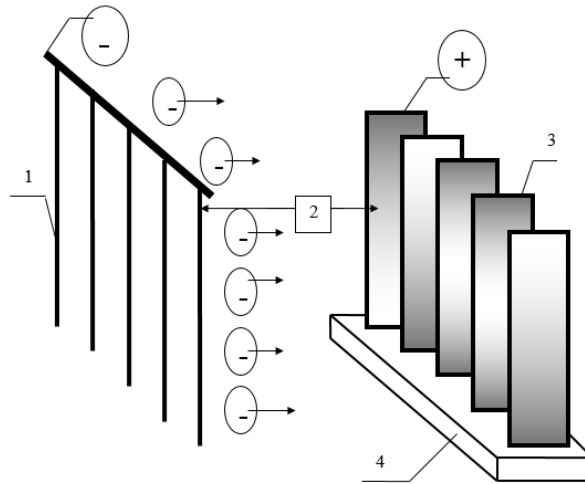


Рисунок 2 – Конструктивная схема электрического фильтра в ЗФВС:

1 – тонкие проволоочки; 2 – создается электрическое поле между электродами;
3 – пластины для осаждения пыли; 4 – контейнер для сбора пыли и включений.

ВЫВОДЫ

1. Предложена ЗФВС также разработана новая концепция очистки ГССА, ТССА, позволяющая использовать ограниченное количество воздуха за счет многократного его прокачивания по замкнутой системе вентиляции, которая отвечает требованиям по выбросу в атмосферу вредных веществ согласно Киотскому протокола.

2. Предложена технология по очистке с использованием ультразвуковой коагуляции.

Список использованных источников:

1. Левченко, О. Г. Способы и средства локализации и нейтрализации сварочных аэрозолей: дис. ... д-ра техн. наук: 05.26.01; защищена 04.05.06 / Левченко Олег Григорьевич. – Киев, 2006. – 510 с.

2. Чигарев, В. В. Металлургические и технологические основы наплавки износостойких сплавов порошковыми лентами: дис. ... д-ра техн. наук: 05.06.05 / Чигарев Валерий Васильевич. – М., 1999. – 532 с.

3. Пат. 19867 Україна, МПК В 23 К 37/00. Пристрій для очищення твердої та газоподібної складових аерозолів при наплавленні / Логвінов Ю. В. – № u200510339; заявл. 02.11.2005; опубл. 15.01.2007, Бюл. № 1. – 4 с.

4. Пат. 19101 Україна, МПК В 23 К 37/00. Пристрій для замкнутої системи уловлювання, фільтрації і нейтралізації зварювальних аерозолів при наплавленні / Логвінов Ю. В. – № u200510341; заявл. 02.11.05; опубл. 15.12. 06, Бюл. № 12. – 4 с.

5. Пат. 86222 Україна, МПК (2013) В 23 К 37/00. Пристрій для очищення зварювальних аерозолів при наплавленні / *Поважний О. С., Пілюшенко В. Л., Логвінов Ю. В., Логвінов С. Ю.* – N u201304870; заявл. 16.04.13; опубл. 25.12.13, Бюл. N 24. – 4 с.

Логвінов Ю. В.

ЗАМКНУТОЇ ФІЛЬТРОВЕНТИЛЯЦІЙНОЇ СИСТЕМИ З НЕЙТРАЛІЗАЦІЇ І ЛОКАЛІЗАЦІЇ ЗВАРЮВАЛЬНОГО АЕРОЗОЛЯ ПРИ НАПЛАВЛЕННІ

У статті розглянуті питання створення замкнутої фільтровентиляційної системи по локалізації і нейтралізації зварювального аерозоля при наплавленні згідно міжнародним вимогам по викиду в атмосферу шкідливих речовин.

Мета статті - провести дослідження по створенню замкнутої фільтровентиляційної системи виявити оптимальні технічні рішення і запропонувати рішення як позбавиться від ТССА і ГССА значно поліпшити умови праці при наплавленні. Необхідно не просто уловити СА, а відфільтрувати в замкнутій системі, очистити і подати відфільтроване чисте повітря в зону наплавлення, при цьому не мають бути порушені технологія і металургійні властивості процесу наплавлення з урахуванням міжнародних стандартів ISO і вимог і нормативів Євросоюзу.

Пропонований пристрій простий і надійний в експлуатації. Замкнута фільтровентиляційна система складається з 3-х фільтрів:

- механічний;*
- електричний;*
- хімічний (сорбційний).*

На першій стадії за допомогою сітчастого металевого елемента (сит), що фільтрує, уловлюють великі частки.

На другій стадії використовують ультразвукову коагуляції. Суть ультразвукової коагуляції в попередньому укрупненні аерозольних часток, що полегшують їх уловлювання за допомогою звичайних сит.

Основними елементами електрофільтру є короніруючий і осадительний електроди.

Робота будується на новій концепції очищення зварювального аерозоля (СА) що дозволяє використати обмежену кількість повітря за рахунок багатократного його прокачування по замкнутій системі вентиляції, яка відповідає вимогам по викиду в атмосферу шкідливих речовин. Уперше розглянуті питання розробки новітніх технологій по локалізації і нейтралізації зварювального аерозоля при наплавленні згідно з вимогами по викиду в атмосферу шкідливих речовин по Кіотському протоколу.

Нову технологію очищення СА, яке відповідає вимогам по викиду в атмосферу шкідливих речовин згідно Кіотського протоколу в результаті застосування замкнутої системи вентиляції, забезпеченої потрійній фільтрацією, при якій шкідливі речовини не викидаються в атмосферу, а нейтралізуються. Запропоновано практичне рішення питань.

Ключові слова: *локалізації і нейтралізації, шкідливі речовини, формалізація, спільності, нові технології.*

Logvinov Y. V.

CLOSED FILTER SYSTEM ON NEUTRALIZATION AND LOCALIZATION OF WELDING AEROSOL WHEN SURFACING

In the article the considered questions of creation of filroventiltor close system are for localizations and neutralizations of welding aerosol at naplavleni concordantly - to the requirements on extrass in the atmosphere of harmful substances.

Aim of the article - to undertake a study on creation of filroventiltor close system to educe optimal technical decisions and offer solution as will get rid from TCZA and GCZA considerably to improve the terms of labour at naplavlen. It is necessary it is not simple to catch ZA, but filter in close system, clean and give the filtered clean air in the zone, here technology and metallurgical properties of process of naplavlen must not be broken taking into account the international standards of ISO and requirements and norms of European Union.

The offered device is simple and reliable in exploitation. Reserved the filroventiltor system consists of 3x filters:

- mechanical;*
- electric;*
- chemical.*

On the first stage by means of the reticulated metallic element (sito) that filters, catch large stakes.

On the second stage coagulations use ultrasonic. Essence of ultrasonic coagulation is in previous enlargement of aerosol parts that facilitate their catching by means of ordinary sit. .

Work is built on new conception of cleaning of welding aerosol of (ZA) what allows to use a limit amount of air due to his frequent on close system of ventilation, that answers requirements on extrass in the atmosphere of harmful substances. First considered questions of development of the newest technologies for localizations and neutralizations of welding aerosol atnaplavlen according to requirements on extrass in the atmosphere of harmful substances on Kyoto protocol.

NT of cleaning of ZA, that answers requirements on extrass in the atmosphere of harmful substances in obedience to Kyoto protocol as a result of application of close system of ventilation, provided triple filrotor, at that harmful substances are not thrown out in an atmosphere, but neutralized. The sanitary-hygenic state of workplace of наплавщика gets better considerably. Practical solution of questions offers.

Keywords: *localizations and neutralizations, formalization, quantifier of community.*

Рецензент: д-р техн. наук, проф. В. В. Чигарев

Статья поступила 4.09.2018 г.

УДК 621.791.92

ЛОГВИНОВ Ю. В.

НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ ПО ВЛИЯНИЮ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ПРИ НАПЛАВКЕ НА СА

В статье рассмотрены вопросы влияние металлургических процессов в сварочной ванне на образование ПО, а также на плавление порошковой ленты с целью определения требований к замкнутой системы по локализации и нейтрализации вредных веществ и ПО.

Машинобудування і зварювальне виробництво

Предлагаемая технология не должна нарушить защитную атмосферу расплавленного металла сварочной ванны от воздействия воздуха. Основные задачи:

- 1) Изучение механизма образования ЗА.
- 2) Разработка замкнутой фильтровентиляционной системы (ЗФВС).
- 3) Разработка фильтра способного локализовать и нейтрализовать ПО.

Сварочные аэрозоли образуются в анодном и катодном пятне за счет испарения элементов. Элементы с температурой кипения меньше температуры кипения железа, кремний и марганец, испаряются с поверхности капли и части сварочной ванны активных пятен, превышающих площадь. Это приводит к повышенному испарению этих токсичных элементов и необходимости увеличения площади отсасывания, и подведение очищенного воздуха с внешней стороны зоны образования аэрозолей.

Ключевые слова: локализации и нейтрализации, вредные вещества, формализация, общности, новые технологии, утилизация отходов.

Важной составляющей влияющей на образование сварочного аэрозоля (СА) является металлургические процессы при наплавке порошковой лентой. В проведенных исследованиях рассматривается влияние металлургических процессов в сварочной ванне на образования СА, а также на плавление порошковой ленты с целью определения требований к замкнутой системе по локализации и нейтрализации вредных веществ и СА.

Предлагаемая технология не должна нарушить защитную атмосферу расплавленного металла сварочной ванны от воздействия воздуха.

Исследования по СА при сварке внесли видные Украинские учёные – д-р техн. наук, проф. Левченко О. Г. (ИЭС им. Е. О. Патона), д-р техн. наук, проф. Чигарёв В. В. (ПГТУ) при наплавке [1-2], которые дали фундамент в решении поставленных проблем.

Основные задачи:

- 1) Изучение механизма образования СА.
- 2) Разработка замкнутой фильтровентиляционной системы (ЗФВС).
- 3) Разработка фильтра способного локализовать и нейтрализовать СА.

Предлагаемые методики применяются для разработки замкнутой фильтровентиляционной системы (ЗФВС) для локализации и нейтрализации выделений вредных веществ и СА при наплавке. Исследования позволили разработать теоретические основы по локализации и нейтрализации СА при наплавке в частности основных факторов, влияющих как на металлургические составляющие, так и на конструкцию, механизм работы с СА при наплавке и принцип действия новейшей технологии в ЗФВС согласно международным Киотским и Парижским протоколами подписанным Украиной.

Задачами исследований является: влияние металлургических процессов при наплавке на СА, механизм образования СА; разработка замкнутой фильтровентиляционной системы (ЗФВС), Разработка фильтра способного локализовать и нейтрализовать СА, также определение её параметров, исключаящих влияние на металлургические процессы, определяющие качество наплавленного металла, на параметры дуги и формирование металла шва.

На рис. 1 представлена схема плавления порошковой ленты при наплавке.

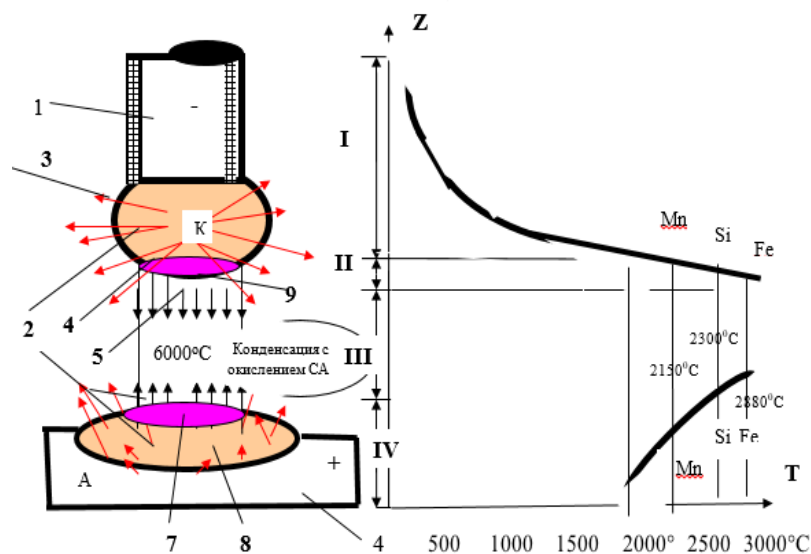


Рисунок 1 – Схема наплавки порошковой ленты с температурой плавления:

- 1 – электродная лента; 2 – капля; 3 – зона испарения аэрозоля;
- 4 – катодное поле; 5 – дуга; 6 – зона испарения; 7 – анодное пятно;
- 8 – сварочная ванна; 9 – катодное пятно

Как видно из рис. 1. представленной схемы плавления порошковой ленты при наплавке, вместе с каплями металла в сварочную ванну попадает и расплавленный сердечник. Оно взаимодействует с металлом на всем пути своего движения, а затем всплывает на поверхность сварочной ванны и покрывает ее защитным слоем - шлаком. Однако во время своего существования жидкий, металл взаимодействует не только с расплавленным сердечником – шлаком, но частично и с газовой средой, в состав которой кроме составляющих покрытия входят и пары металла.

Схема плавления порошковой ленты при наплавке и ее отдельные зоны или участки, для которых характерно развитие тех или иных процессов. Здесь можно отметить 4 зоны Z:

- I- подготовительная зона;
- II- реакционная зона, торца электрода;
- III- зоны перехода металла в дуге;
- IV- реакционная зона наплавочной ванны.

На рис. 2. представлена схема плавления порошковой с выделением СА.

Количество ТССА, выделяющихся перед дугой, составляет 74 % от выделений за дугой, следовательно, для улавливания ТССА необходим кольцевой газоотсос, смещенный в сторону ванны.

Сварочные аэрозоли образуются в анодном и катодном пятне за счёт испарения элементов. Элементы с температурой кипения меньше температуры кипения железа, кремний и марганец, испаряются с поверхности капли и части сварочной ванны, превышающих площадь активных пятен. Это приводит к повышенному испарению этих токсичных элементов и необходимости увеличения площади отсоса, и подвода очищенного воздуха с внешней стороны зоны образования аэрозолей.

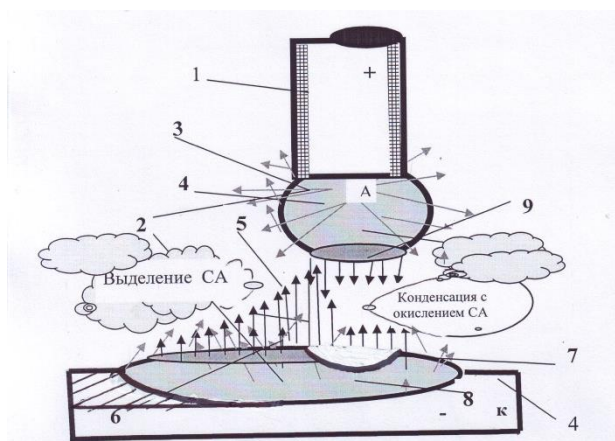


Рисунок 2 – Схема плавки порошковой с выделением СА:
 1 – электродная лента; 2 – капля; 3 – зона испарения аэрозоля;
 4 – наплавляемая поверхность; 5 – дуга; 6 – зона испарения;
 7 – анодное пятно; 8 – сварочная ванна; 9 – катодное пятно

Образующийся при наплавке порошковой ленты вредные вещества и СА улавливаются специальными приспособлениями и оборудованием. На рис. 2. представлен внешний вид установки для локализации и нейтрализации в рабочем состоянии.

Важной составляющей при создании замкнутой фильтровентиляционной системы при наплавке, является разработка механизма захвата СА с учётом возможного влияния на металлургические процессы при наплавке. На рис. 2. представлена схема образования СА и проникновение её в окружающую среду. На рис. 3. детально представлен механизма захвата СА в ЗФВС при наплавке нет сдвигов дуги и формирование наплавочного шва.

На рис. 3. представлен механизм работы приспособления выполняющего одновременно 2 функции – это отсос СА и подачи очищенного воздуха в зону наплавки. Кольцевой поток очищенного воздуха (8) смешивается со СА и отсасывается по внутреннему каналу (9) и поступает в систему фильтров.

Технология очистки ТССА, ГССА позволяет ограничить количество воздуха, используемого для вентиляции за счёт многократного его прокачивания и очистки в ЗФВС. При этом, значительно улучшаются санитарно-экологические показатели работы участка наплавки и выполняются международные требования и стандарты Киотского и Парижского протоколов.

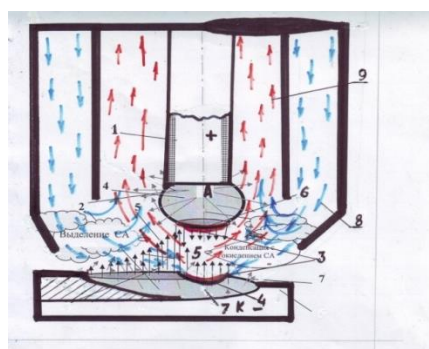
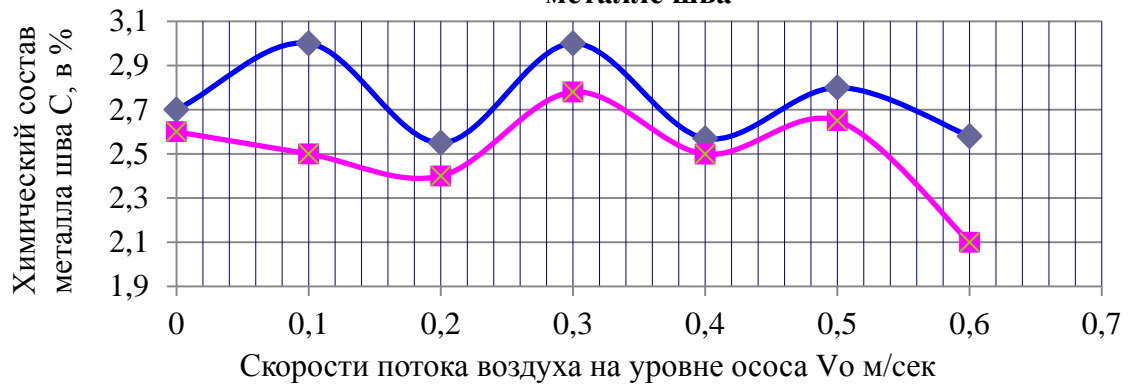


Рисунок 3 – Механизм захвата СА в металлургических процессах в ЗФВС при наплавке:
 1 – электродная лента; 2 – капля; 3 – зона испарения аэрозоля; 4 – анодное пятно;
 5 – дуга; 6 – анодное пятно; 7 – сварочная ванна; 8 – отфильтрованный воздух;
 9 – поток аэрозоли, захваченной потоком ЗФВС

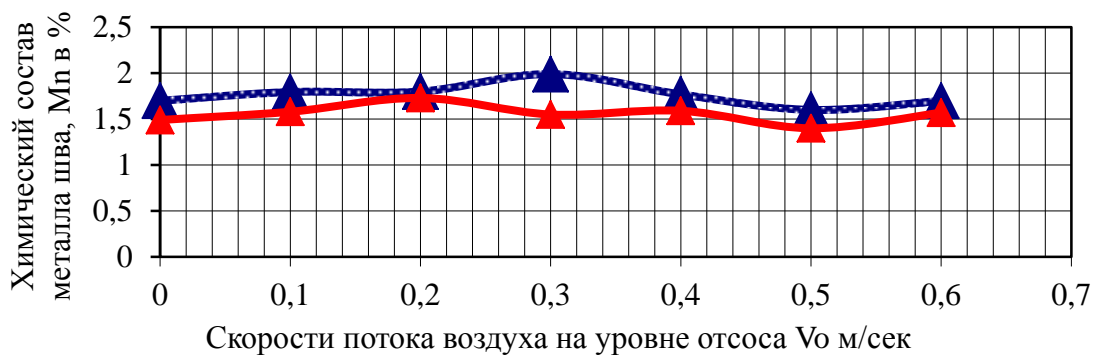
Машинобудування і зварювальне виробництво

Влияние скорости воздуха на уровне отсоса на содержание С в металле шва



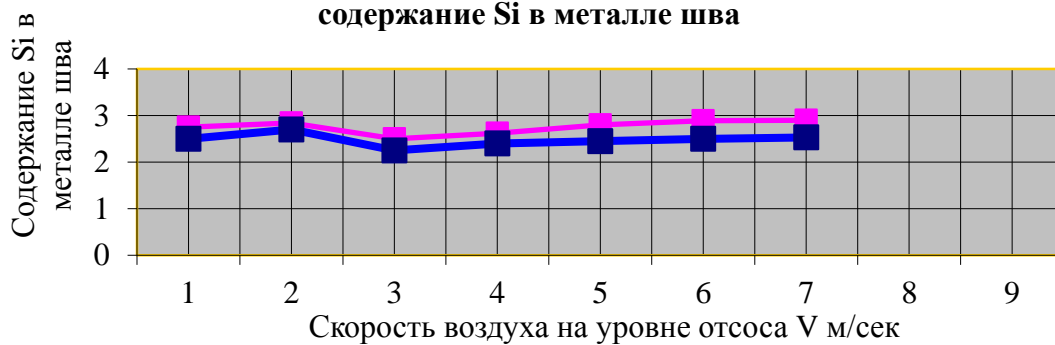
А)

Влияние скорости потока воздуха на уровне отсоса на содержание Mn в металле шва



Б)

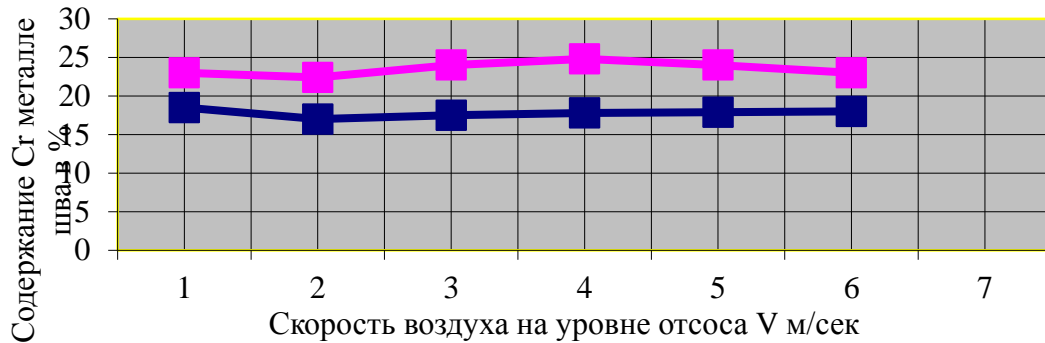
Влияние скорости потока воздуха на уровне отсоса на содержание Si в металле шва



В)

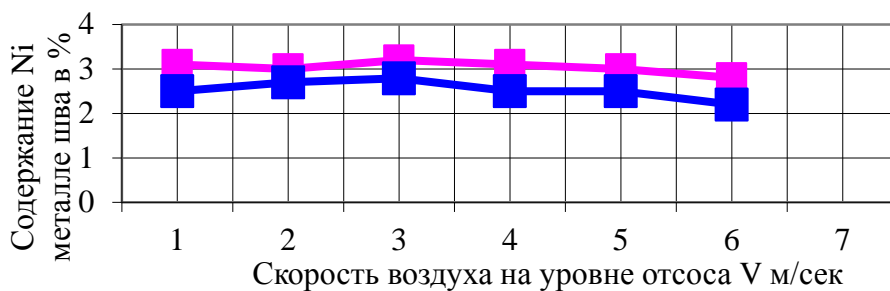
Машинобудування і зварювальне виробництво

Влияние скорости потока воздуха на уровень отсоса на содержание Cr в металле шва



Г)

Влияние скорости потока воздуха на уровень отсоса на содержание Ni в металле шва



Д)

Рисунок 4 – Исследование влияния скорости потока воздуха на уровне отсоса на содержание различных материалов в металле шва:

- а) влияние скорости потока воздуха на уровне отсоса на содержание **C** в металле шва;
- б) влияние скорости потока воздуха на уровне отсоса на содержание **Mn** в металле шва;
- в) влияние скорости потока воздуха на уровне отсоса на содержание **Si** в металле шва;
- г) влияние скорости потока воздуха на уровне отсоса на содержание **Cr** в металле шва;
- д) влияние скорости потока воздуха на уровне отсоса на содержание **Ni** в металле шва

На рис. 4 (а,б,в,г,д). представлены результаты исследований. Из анализа рис. а,б,в,г,д. в интервале 0 – 9 м/сек. скорость потока воздуха не влияет на содержание углерода, марганца, никеля и хрома в наплавления металле. Колебания содержания хрома в наплавке обусловлено сепарацией шихты при изготовлении порошковой ленты и присыпанием шихты в процессе наплавки, так как увеличение скорости потока воздуха не может привести к увеличению содержания хрома в наплавленом металле. Поток воздуха в ЗФВС не влияет, а влияние неоднородности химического состава ленты.

ВЫВОДЫ

1. Единственный выход по локализации, нейтрализации вредных веществ СА это, создание системы с замкнутым потоком вентиляции с фильтром или замкнутой фильтро вентиляционной системы (ЗФВС). На рис. 3. представлены особенности механизма захвата СА в ЗФВС при наплавке и процессов, протекающих в сварочной ванне, влияние капли и дуговым

Машинобудування і зварювальне виробництво

промежутке на образования СА. Технология очистке ТССА, ГССА позволяющая ограниченным количеством воздуха, за счёт многократного его прокачивания и разбавления в ЗФВС, что соответствует международным требованиям и стандартам Киотского и Парижского протокола.

2. Расход воздуха, необходимого для снижения концентрации СА до ПДК определяется компонентами, имеющими низкие значения ПДК значительные удельные выделения, например, оксиды марганца и хрома.

3. Снижение расхода возможно за счет использования наплавочной ленты с сердечником, изготовленным не из смеси компонентов, а из комплексного сплава (см. рис. 3).

4. При снижении концентрации СА до ПДК за счет разбавления воздухом увеличиваются расходы на вентиляцию и главное существенно ухудшается экологическая обстановка в промышленно развитых городах. Поэтому рекомендуется не разбавлять, а улавливать СА механическими электрическими и комбинированными фильтрами.

5. Из анализа рис. 4 в интервале 0 – 9 м/сек. скорость потока воздуха не влияет на содержание углерода, марганца, никеля и хрома в наплавление металле. Колебания содержания хрома в наплавке обусловлено сепарацией шихты при изготовлении порошковой ленты и присыпанием шихты в процессе наплавки, так как увеличение скорости потока воздуха не может привести к увеличению содержания хрома в наплавленном металле. Поток воздуха в ЗФВС не влияет, а влияние неоднородности химического состава ленты.

При сепарации – тяжёлые частицы внизу, лёгкие частицы вверху, поэтому происходит неоднородность ленты по длине. Для шихты – неоднородность химического состава наплавленного валика возникает в следствии просыпания шихты при наплавке. Что приводит к разбросу химического состава. Поток воздуха не влияет, а влияние неоднородности химического состава ленты.

Логвінов Ю. В.

ДЕЯКІ ПИТАННЯ ПО ВПЛИВУ МЕТАЛУРГІЙНИХ ПРОЦЕСІВ ПРИ НАПЛАВЛЕННІ НА ЗА

У статті розглянуті питання впливу металургійних процесів в зварювальній ванні на утворення ЗА, а також на плавлення порошкової стрічки з метою визначення вимог до замкнутої системи по локалізації і нейтралізації шкідливих речовин і ЗА. Пропонована технологія не повинна порушити захисну атмосферу розплавленого металу зварювальної ванни від дії повітря. Основні завдання:

- 1) Вивчення механізму утворення ЗА.*
- 2) Розробка замкнутої фільтровентиляційної системи (ЗФВС).*
- 3) Розробка фільтру здатного локалізувати і нейтралізувати ЗА.*

Зварювальні аерозолі утворюються в анодній і катодній плямі за рахунок випару елементів. Елементи з температурою кипіння менше температури кипіння заліза, кремній і марганець, випаровуються з поверхні краплі і частини зварювальної ванни активних плям, що перевищують площу. Це призводить до підвищеного випару цих токсичних елементів і необхідності збільшення площі відсмоктування, і підведення очищеного повітря із зовнішнього боку зони утворення аерозолів.

Це необхідно враховувати при створенні замкнутої фільтровентиляційної системи по локалізації і нейтралізації зварювального аерозоля при наплавленні згідно з міжнародними вимогами по викиду в атмосферу шкідливих речовин. Робота будується на новій концепції очищення зварювального аерозоля (ЗА) що дозволяє використати обмежену кількість

Машинобудування і зварювальне виробництво

повітря за рахунок багатократного його похитування по замкнутій системі вентиляції, яка відповідає вимогам по викиду в атмосферу шкідливих речовин.

Зниження витрати можливе за рахунок використання наплавлювальної стрічки з сердечником, виготовленим не з суміші компонентів, а з комплексного сплаву.

Уперше розглянуті питання розробки новітніх технологій по локалізації і нейтралізації зварювального аерозоля при наплавленні згідно з вимогами по викиду в атмосферу шкідливих речовин по Кіотському протоколу. Нову технологію очищення ЗА, яке відповідає вимогам по викиду в атмосферу шкідливих речовин згідно Кіотського протоколу в результаті застосування замкненої системи вентиляції, забезпеченої трійкою фільтрів, при якій шкідливі речовини не викидаються в атмосферу, а нейтралізуються. Значно покращується санітарно-гігієнічний стан робочого місця наплавщика. Запропоновано практичне рішення питань.

Розроблена технологія має апробацію в різних галузях народного господарства.

Ключові слова: локалізації і нейтралізації, шкідливі речовини, формалізація, спільності, нові технології, утилізація відходів.

Logvinov Y. V.

SOME QUESTIONS ABOUT THE INFLUENCE OF METALLURGICAL PROCESSES WHEN TURNING ON CA

In the article the considered questions influence of metallurgical processes in welding bath on formation ZA, and also on melting of powder-like ribbon with the aim of determination of requirements to close system for localizations and neutralizations of harmful substances and ZA. The offered technology must not violate the protective atmosphere of molten metal of welding bath from the action of air.

Basic tasks:

- 1) Study of mechanism of formation ZA.*
- 2) Developments of filroventiltor close system (DFVS).*
- 3) Developments of filter capable to localize and neutralize ZA.*

Welding aerosols appear in an anodic and cathode spot due to evaporation of elements. Elements with the temperature of boiling the less temperature of boiling of iron, silicon and manganese, evaporating from the surface of drop and part of welding bath of active spots that exceed an area. It results in an increase evaporation of these toxic elements and necessity of increase of sucking area, and tricking into of the cleared air from exteriority of zone of formation of aerosols.

It must be taken into account at creation of of filroventiltor close system for localizations and neutralizations of welding aerosol at naplavleni according to international requirements on extrass in the atmosphere of harmful substances. Work is built on new conception of cleaning of welding aerosol (ZA) what allows to use a limit amount of air due to his frequent waggle on close system of ventilation, that answers requirements on extrass in the atmosphere of harmful substances.

The decline of expense is possible due to the use of naplavleni ribbon cored, made not from mixture of components, but from a complex alloy.

First considered questions of development of the newest technologies for localizations and neutralizations of welding aerosol at naplavleni according to requirements on extrass in the atmosphere of harmful substances on Kyoto protocol. NT of cleaning ZA, that answers requirements on extrass in the atmosphere of harmful substances in obedience to Kyoto protocol as a result of application of close system of ventilation, provided with three of filters, at that harmful substances are not thrown out in an atmosphere, but neutralized

Машинобудування і зварювальне виробництво

The sanitary-hygenic state of workplace of naplavchik gets better considerably. Practical solution of questions offers.

The worked out technology has approbation in different industries of national economy.

Keywords: *localizations and neutralizations, formalization, quantifier of community, utilization of wastes.*

Рецензент: д-р техн. наук, проф. С. В. Щетинин

Статья поступила 4.08.2018 г.

УДК 621.74.047

Лоза А. В., Ткачук Е. В., Рассохин Д. А., Шишкин В. В.

ОПТИМИЗАЦИЯ НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ ГОЛОВОК ЗАТРАВКИ МНЛЗ

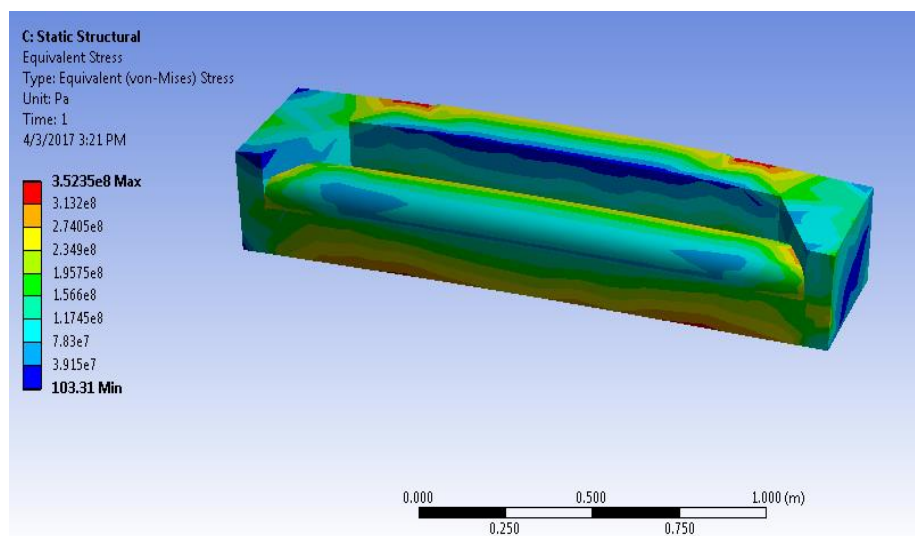
В работе проанализировано влияние напряженного состояния головок затравки МНЛЗ на возникновение дефектов в них. Определены технические возможности для уменьшения напряжений на наиболее нагруженных участках головки. На напряженное состояние головок затравки значительное влияние оказывает исходная макроструктура металла, из которого они изготовлены. Предложены технические мероприятия, которые позволяют уменьшить трещинообразование в затравках и увеличить срок их эксплуатации.

Ключевые слова: *машины непрерывного литья заготовок, затравка, напряжения, трещины, дефекты, моделирование.*

Важнейшей составной частью металлургических комбинатов являются машины непрерывного литья заготовок (МНЛЗ). Современные машины непрерывного литья имеют массу в несколько тысяч тонн и обеспечивают предприятию значительную долю товарной продукции. Несмотря на высокий уровень технологии, при работе МНЛЗ могут возникать аварийные ситуации в начале процесса разлива. Причины их возникновения изучены недостаточно. В известных публикациях по непрерывной разливке, которые считаются классическими [1, 2], а также в более поздних публикациях [3], проблемы, связанные с эксплуатацией затравки, практически не рассматривались. Поэтому актуальным является анализ работы данного оборудования и усовершенствование работы его отдельных узлов, влияющих на работу машины при пуске, в частности – головок затравки. Техническое состояние затравки определяет технологичность процесса формирования первых метров непрерывного слитка. Важное значение имеет также напряженное состояние головки затравки, т.к. при больших напряжениях возникают остаточные деформации, что может привести к аварийной остановке МНЛЗ. Кроме того, от напряженного состояния зависит долговечность работы затравки. Поэтому оптимизация напряженного состояния головок затравки является актуальной задачей.

Цель статьи – анализ напряженного состояния головок затравки слывовых МНЛЗ с целью определения возможных резервов для уменьшения напряжений на их наиболее нагруженных участках, обеспечения безотказной эксплуатации и уменьшения ремонтов.

Практика эксплуатации машин непрерывного литья показывает, что при эксплуатации затравки неизбежно возникают дефекты, которые создают трудности для обслуживающего персонала, влияют на выполнение технологии литья и могут быть одной из причин незапланированных или аварийных остановок [4]. Расчеты показывают, что наиболее нагруженными участками головки затравки являются замок и часть корпуса головки, которая параллельна замковому выступу, рис. 1.



а)



б)

Рисунок 1 – Головка затравки укороченної конструкції:
 а – розподілення напружень в трьохмерній моделі головки;
 б – фото дефектів з обротної сторони робочої головки затравки

Замкова частина головки затравки контактує з рідким металом з температурою 1500-1560 °С і нагрівається нерівномірно. Теплові навантаження на її корпус при цьому настільки великі, що в результаті термічних напружень утворюються тріщини, зазвичай раніше закінчення нормативного строку експлуатації. Для недопущення можливих непередбачених зупинок МНЛЗ необхідний аналіз роботи затравок і удосконалення їх конструкції і технології обслуговування. Сопоставлення виконаних раніше розрахункових досліджень [5] з поточним станом обладнання на металургічних підприємствах показує, що використання обчислювальних засобів при моделюванні поведінки затравок є поки недостатнім для прогнозування їх поведінки в реальних умовах експлуатації, так як не враховується хімічне і корозійне вплив агресивної середовища на матеріал затравки. Особливістю виконання моделювання трьохмерних конструкцій і деталей на сьогоднішній день є усереднення властивостей або для всього изделия, або для його окремих складових частин. Це стосується як механічних, так і теплофізичних властивостей будь-якого изделия. Такий ідеалізований підхід до властивостей матеріалу не може враховувати особливості структури металу реального изделия, яка характеризується мікро- і макронеоднорідністю. Врахування таких особливостей має особливо велике значення в разі литих деталей значительних

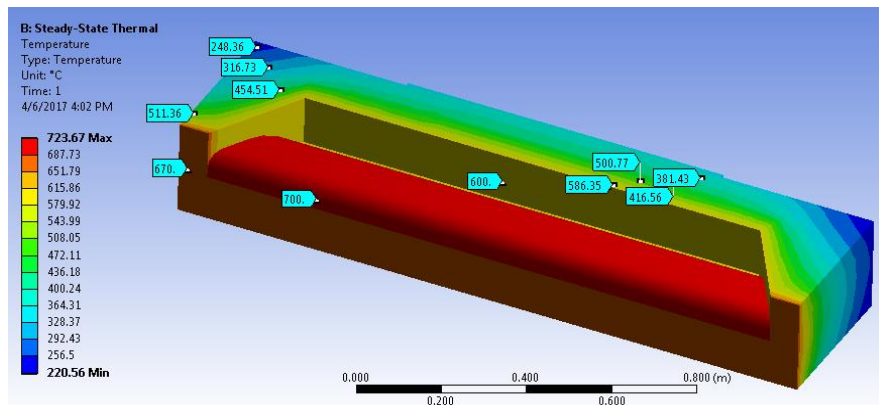
габаритов и массы. Для таких изделий неоднородность структуры и свойств металла является значительной, что способствует развитию дефектов [6, 7]. Неоднородность макроструктуры являются причиной снижения механических свойств металла замковой части в ослабленных зонах, что может приводить к ускоренному образованию трещин, которые составляют основную проблему эксплуатационного персонала при обслуживании затравок. В какой степени происходит снижение свойств, зависит от типа исходной структуры металла головки затравки. Дефекты исходной литой структуры головки затравки, являясь концентраторами напряжений, могут увеличивать напряжения локально на отдельных участках в несколько раз. Результаты моделирования, представленные на рис. 1а, свидетельствуют о неравномерном распределении напряжений в головке затравки. Величина напряжений в корпусе головки может изменяться в широких пределах при нагреве (согласно расчетам – от 0 до 352 МПа). В наиболее напряженном состоянии находится замковый выступ и верхняя часть корпуса головки. Наличие скрытых дефектов на участках, где напряжения находятся на уровне до 156 МПа, не является опасным. В то же время на участке с напряжениями 313-352 МПа существует большая вероятность развития трещин. Исследования образцов металла, вырезанных из вышедших из строя затравок, показали, что трещины развиваются в первую очередь в зоне расположения внутренних литейных (металлургического происхождения) дефектов, которые присутствуют в изделии изначально, рис. 2 (показана плита из стали 35Л толщиной 90 мм после снятия поверхностного слоя 15 мм). Причем количество дефектов может быть значительным.



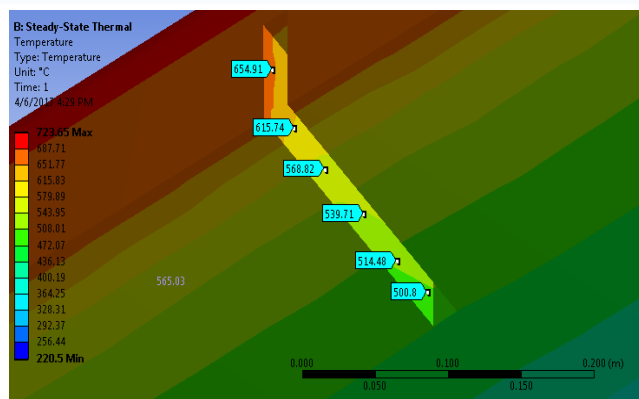
Рисунок 2 – Внутренние дефекты в отливке из стали 35Л на глубине 15 мм

Кроме того, по ходу эксплуатации структура металла головок затравок изменяется, механические свойства при этом снижаются. Происходит окисление металла поверхностного слоя, а это связано с уменьшением пластических свойств. В первую очередь окисляются границы зерен. В результате прочность связи между зёрнами в поверхностных слоях уменьшается, и в результате термоциклирования по границам образуются микротрещины. Если слой обезуглероживается на значительную глубину, его напряженное состояние отличается от состояния основной массы головки. Агрессивное воздействие среды связано с циклическим действием высоких температур, до которых затравка нагревается при эксплуатации. Головка в наибольшей степени нагревается в зоне замкового выступа. Использование трехмерного моделирования позволяет оценить распределение температур в металле замковой части головки, рис. 3.

Машинобудування і зварювальне виробництво



а)



б)

Рисунок 3 – Распределение температуры на различных участках головки затравки МНЛЗ при нагреве до рабочих температур: а – модель укороченной головки; б – распределение температуры в сечении головки затравки

В замке головки зоне внутренних дефектов напряженное состояние материала характеризуется пиковыми значениями напряжений, которые могут быть критическими с точки зрения прочности материала. Это объясняет причину возникновения одиночных трещин при эксплуатации на практически новых головках затравок (20 заведений в кристаллизатор).

В связи с этим, большое значение для работоспособности головок затравок имеет корректировка технологии литья при их изготовлении. Технология изготовления головок может быть усовершенствована таким образом, чтобы наиболее нагруженный участок головки – замок, во время кристаллизации жидкой стали охлаждался с повышенной скоростью, по сравнению с другими участками изделия. В этом случае можно обеспечить получение бездефектного металла в замковой части, имеются в виду макродефекты, которые являются значительными концентраторами напряжений и инициируют возникновение трещин. Другим техническим приемом для предотвращения трещинообразования в затравках является наплавка замкового выступа. Современные сварочные технологии позволяют выполнять такую наплавку практически любыми материалами.

Выполнение упрочняющей наплавки способствует снижению изгибающих напряжений и уменьшению остаточных пластических деформаций корпуса головки. Необходимую наплавку замка возможно обеспечить как для новых затравок, так и для уже эксплуатирующихся, во время промежуточных ремонтов машины. Преимущество такой технологии в том, что её можно реализовать как в условиях завода-изготовителя, так и на металлургическом предприятии, которое использует затравки. Технология наплавки цилиндрических и криволинейных поверхностей прошла многолетнее испытание, о чем

Машинобудування і зварювальне виробництво

свидетельствуют известные публикации [8, 9]. Таким образом, за счет использования технических резервов имеется возможность значительно повысить срок службы затравок и увеличить надежность работы машин непрерывного литья.

ВЫВОДЫ

1. Замковая часть головок затравок эксплуатирующихся МНЛЗ работает в условиях циклического нагрева, что обуславливает возникновение значительных температурных напряжений. При наличии внутренних дефектов макроструктуры материала головок рабочие напряжения могут достигать критических значений, что влечет за собой образование трещин. Одним из технических приемов для решения задачи снижения максимальных напряжений в материале головок может быть корректировка технологии литья при изготовлении затравок и обеспечение бездефектной структуры металла в их замковой части.

2. Наплавкой замкового выступа может быть значительно уменьшено коррозионное окисление поверхностного слоя замка, которое способствует развитию микротрещин при эксплуатации.

Список использованных источников:

1. Нисковских, В. М. Машины непрерывного литья слябовых заготовок / В. М. Нисковских, С. Е. Карлинский, А. Д. Беренов. – М. : Metallurgiya, 1991. – 271 с.
2. Теория непрерывной разливки / В. С. Рутес [и др.]. – М. : Metallurgiya. 1971. – 296 с.
3. Смирнов, А. Н. Непрерывная разливка стали / А. Н. Смирнов, С. В. Куберский, Е. В. Штепан. – Донецк : Изд-во ДонНТУ, 2011. – 482 с.
4. Loza, A. V. Hazard reduction in continuous casting of steel / A. V. Loza // *Steel in Translation*. – 2015. – Vol. 45, N 8. – P. 584–587.
5. Исследование напряженного состояния литого металла при циклическом нагреве / А. В. Лоза, В. В. Чигарев, Д. А. Рассохин, В. В. Шишкин // Известия ВУЗов. Черная металлургия. – 2016. – Т. 59, № 11. – С. 781–786.
6. Zhao, H. Process Design of Steel Castings Based on Proportional Solidification Theory / H. Zhao, R. Wu, R. Wang // *Foundry technology*. – 2014. – Vol. 35, № 3. – P. 609 – 611.
7. Zhang Y. Numerical Simulation Research on Flow Behavior of T-Type Five Strands Asymmetric Tundish with Additional Flow Control Devices / Y. Zhang, W. Wu, J. Huang // *Foundry technology*. – 2010. – Vol. 31, № 7. – P. 922–925.
8. Гулаков, С. В. Управление траекторией перемещения электрода при дуговой наплавке прокатных валков / С. В. Гулаков, В. П. Иванов, И. С. Псарёва // Вісник ДДМА : зб. наук. пр. – Краматорск, 2000. – С. 322–324.
9. Совершенствование технологии наплавки деталей металлургического оборудования / С. В. Гулаков [и др.] // Автоматическая сварка. – 2004. – № 10. – С. 54–57.

Лоза А. В., Ткачук К. В., Рассохін Д. О., Шишкін В. В.

ОПТИМІЗАЦІЯ НАПРУЖЕНОГО СТАНУ ГОЛІВОК ЗАПАЛІВ МБЛЗ

Машины безперервного литва заготовель (МБЛЗ) є важливою складовою частиною металургійних комбінатів. Їх технічний стан залежить від ряду важливих вузлів, у тому числі запалів. Незважаючи на високий рівень металургійної технології, при роботі МБЛЗ можуть виникати аварійні ситуації (зупинки) на початку розливання рідкого металу. Одна

Машинобудування і зварювальне виробництво

з причин зупинок - незадовільний стан запалів. Тому потрібний аналіз стану запалів з метою визначення резервів для зниження в них напружень.

Практика експлуатації МБЛЗ показує, що при експлуатації запалів неминуче виникають дефекти, які створюють труднощі для обслуговуючого персоналу. Розрахунки показують, що найбільш навантаженими ділянками голівки запалу є замок і частина корпусу голівки, яка паралельна замковому виступу. Замкова частина голівки запалу контактує з рідким металом з температурою 1500-1560 °С та нагрівається нерівномірно. Аналіз показує, що використання обчислювальних засобів при моделюванні поведінки запалів є доки недостатнім для прогнозування їх поведінки в реальних умовах експлуатації, оскільки не враховується хімічна і корозійна дія агресивного середовища на матеріал запалу. Неоднорідність макроструктури є причиною зниження механічних властивостей металу замкової частини в послаблених зонах, що може призводити до прискореного утворення тріщин. Дефекти початкової литої структури голівки запалу, являючись концентраторами напруги, можуть збільшувати напруження локально на окремих ділянках у декілька разів. За наявності внутрішніх дефектів напружений стан матеріалу характеризується піковими значеннями напружень, яка може бути критичною з точки зору міцності матеріалу. Це пояснює причину виникнення поодиноких тріщин на практично нових голівках запалів. У зв'язку з цим, велике значення для працездатності голівок запалів має коригування технології литва при їх виготовленні. Технологія виготовлення голівок може бути вдосконалена таким чином, щоб найбільш навантажена ділянка голівки - замок, під час кристалізації рідкої сталі охолоджувався з підвищеною швидкістю, в порівнянні з іншими ділянками виробу. В цьому випадку можна забезпечити отримання бездефектного металу в замковій частині, що знижує максимальні значення напружень в матеріалі запалів і збільшує строк їхньої експлуатації.

Ключові слова: машини безперервного литва заготовок, запал, напруження, тріщини, дефекти, моделювання.

Loza A. V., Tkachuk K. V., Rasskhin D. A., Shishkin V. V.

OPTIMIZATION OF STRAINED STATE OF DUMMY BARS' HEADS

Continuous casting machines (CCM) represent an important component of iron and steel works. Their technical state depends on a series of important units, including seed melting facilities. Despite the high level of this technology various emergency situations (stoppages) may occur at operation of CCMs at the beginning of casting of molten metal. One of possible reasons of that is unsatisfactory state of dummy bars.. That is why the analysis of the state of dummy bars to be necessary, with the objective of evaluation of the reserves for reducing tensions in them.

Experience of exploitation of CCMs shows that defects are inevitable at exploitation of seed melting and they cause problems for maintenance staff. Evaluations show that the most loaded sections of the head of seed melting parts are fasteners and the part of the head, which is parallel to the fastener's lug. The fastener's part contacts with liquid metal, having temperature equal to 1,500-1,600 C and is non-uniformly heated.

The analysis shows that application of computing facilities for simulation of behaviour of seed melting parts is so far insufficient for predicting their behaviour in real exploitation conditions, as chemical and corroding action of corrosive medium upon the seed melting part material is not taken into account. Heterogeneity of the macrostructure is the main reason of reduction of mechanical properties of metal in the fastener, in the impaired areas, it may cause accelerated crack formation.

The defects of the original cast structure of the seed melting part, being a concentrator of tensions can drastically increase local tensions in separate areas. In case of presence of internal defects the stress of the material is characterized with peak tension values that could be critical from the point of view of the strength of the material. It explains the reason of singular cracks on practically new heads of dummy bars..

That is why correction of the foundry process of their manufacturing is of big importance for operating capacity of heads of dummy bars. The process of their manufacturing can be improved in such a way, so that the fastener, most loaded section of the head should be cooled at crystallization with the rate increased, as compare to other sections of the part. In this case it will be possible to ensure absence of defects in metal in the fastener, thus reducing tension values in the material of dummy bars , extending their service lives.

Key words: *Continuous casting machines, dummy bars, tension, cracks, defects, simulation.*

Рецензент: д-р техн. наук, проф. В. В. Суглобов

Статья поступила 4.10.2018 г.

УДК 621.791.75

Размышляев А. Д., Агеева М. В.

К РАСЧЕТУ ЧИСЛЕННЫХ ЗНАЧЕНИЙ ИНДУКЦИИ УПРАВЛЯЮЩЕГО ПОПЕРЕЧНОГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ В ГОЛОВНОЙ ЧАСТИ СВАРОЧНОЙ ВАННЫ

Показано, что в настоящее время имеются расчетные методики, позволяющие определить индукцию в зоне сварочной ванны, которую генерируют двухстержневые устройства ввода (УВ) поперечного магнитного поля (ПОМП) при дуговой сварке. Однако эти методики чрезвычайно сложны в использовании. В настоящей работе предложена расчетная методика определения численных значений компонент индукции ПОМП в зоне сварочной ванны. Методика основана на использовании экспериментальных данных о величине индукции, генерируемой УВ ПОМП в зоне сварочной ванны при различной величине сечений стержней этих УВ ПОМП. По расчетным выражениям определены численные значения компонент индукции магнитного поля в головной части сварочной ванны.

Ключевые слова: *поперечное магнитное поле, индукция, ферромагнетик, сварочная ванна*

Постановка проблемы. Важной проблемой является повышение эффективности процесса электродуговой сварки и наплавки под флюсом. В настоящее время исследования в этом направлении посвящены вопросу влияния управляющих магнитных полей (УМП) на производительность расплавления электрода при дуговой сварке с воздействием УМП. Однако, нет исследований по оптимизации конструкции управляющего поперечного магнитного поля (ПОМП).

Анализ последних исследований и публикаций. Использование поперечного магнитного поля (ПОМП) при автоматической электродуговой сварке под флюсом позволяет стабилизировать параметры режима сварки, управлять геометрией шва, повысить коэффициент расплавления электрода и измельчить структуру шва [1-4]. В работе [5] разработана методика расчетного определения численных значений компонент индукции, генерируемой устройствами ввода (УВ) ПОМП, которая позволяет учитывать изменение таких параметров, как расстояние между торцами стержней и обмотками, размеры сечения стержней и количество ампервитков ($I \cdot W$). Такая расчетная методика позволяет значительно

упростить задачу оптимізації проектуваного УВ ПОМП, либо достичь максимальных значений поперечной компоненты индукции в зоне сварочной ванны. Однако, в этой работе не приведены данные о величине компонент индукции в зоне сварочной ванны. С целью упрощения использования методики расчетов, приведенной в работе [5], целесообразно иметь некоторые численные значения компонент индукции ПОМП в зоне сварочной ванны, получаемые по указанной методике.

Цель работы. Целью настоящей работы является определение численных значений компонент индукции управляющего поперечного магнитного поля в головной части ванны при автоматической электродуговой сварке и наплавке проволокой под флюсом.

Основные материалы исследований. Расчеты выполнялись применительно к конструкциям УВ ПОМП из двух электромагнитов (2 стержня из ферромагнитной стали с обмотками на каждом стержне). На рис. 1, а приведены схемы, основные параметры и размеры УВ ПОМП: a – расстояние между стержнями A и B у их нижних торцов; h – расстояние от торцов стержней до изделия; α – углы наклона стержней к вертикали. На рис. 1, б приведены размеры: b – ширина стержня; c – толщина стержня; L_c – длина стержня; L_k – высота обмотки; H – расстояние от торца стержня до обмотки. Предполагали, что стержни УВ ПОМП расположены перпендикулярно по отношению к оси шва, ось электрода совпадает с осью OZ , ось OY проходит через точку O (рис. 1, а), и перпендикулярна плоскости XOZ . Рассмотрение компонент индукции ПОМП именно в головной части ванны является важным потому, что в этой зоне наблюдаются самые большие значения компонент плотности сварочного тока, растекающегося в сварочной ванне, самые большие значения индуцированных скоростей потоков, и рядом находятся электродная капля и сварочная дуга, на которые воздействует ПОМП.

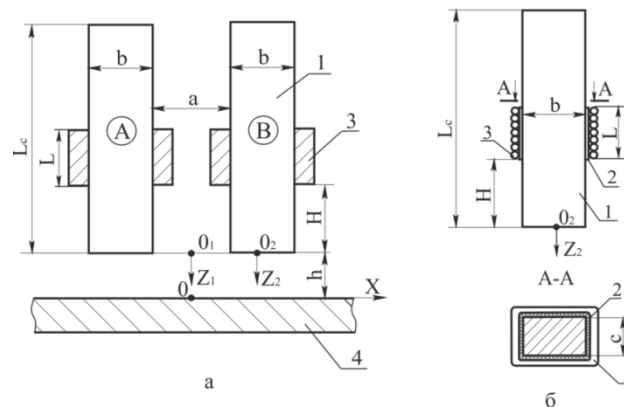


Рисунок 1 — Устройство ввода ПОМП с двумя стержнями (а) и конструкция стержня с обмоткой (б): 1– стержень; 2 – изолятор; 3 – обмотка; 4– изделие

Вычисляли значения продольной компоненты индукции B_z у торцов стержней УВ ПОМП (угол наклона стержней к вертикали; $\alpha=0$ и катушки размещены вблизи торцов стержней, т.е., когда $H = 0$) в зависимости от сечения стержней и числа ампервитков, размещенных на них обмотках. Для этих целей использован следующий расчетный метод.

Индукция на продольной оси соленоида длиной L (без ферросердечника внутри его) в точке A , которая расположена у его торца (рис. 2) [5]:

$$B_z = \mu_0 \frac{I \cdot W}{2L} \cos \alpha, \quad (1)$$

где $I \cdot W$ – число ампервитков в соленоиде;

Машинобудування і зварювальне виробництво

μ_0 – магнитная постоянная; $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ Гн/м;

$$\cos \alpha = \frac{L}{\sqrt{r^2 + L^2}}, \quad (2)$$

где r – эквивалентный радиус «окна» катушки (соленоида):

$$r = \sqrt{\frac{F_c}{\pi}}, \quad (3)$$

где F_c – сечение стержня.

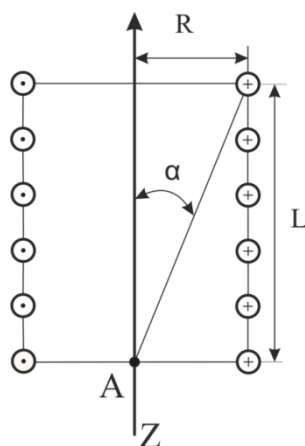


Рисунок 2 – Схема к расчету индукции B_z в точке A на оси Z:
 R – радиус витков соленоида, L – длина соленоида

Экспериментальные значения B_z у торцов стержней (с катушками, когда $H = 0$) значительно больше, чем у катушек (соленоидов) и при увеличении F_c линейно уменьшаются по зависимости:

$$B_z = 90 - 2,37(F_c - 2,08). \quad (4)$$

Для расчетов необходимо использовать коэффициент n , учитывающий наличие ферромагнитного стержня в (соленоиде) катушке:

$$n = \frac{B_{zc}}{B_z}, \quad (5)$$

где B_{zc} – индукция у торца стержня, мТл.

Коэффициент n линейно уменьшается при увеличении сечения стержня (F_c). Эта зависимость соответствует формуле:

$$n = 3,75 - 0,0912(F_c - 2,08). \quad (6)$$

Следует учесть, что при расчете эквивалентного радиуса обмотки необходимо учесть, что обмотки являются многослойными и имеется слой изоляции на стержнях УВ ПОМП и

Машинобудування і зварювальне виробництво

между слоями обмоток. В настоящем исследовании, как и работе [5] обмотки выполнялись четырехслойно медной изолированной проволокой диаметром 1,2 мм с общим числом витков $W=100$. В связи с этим эквивалентный радиус, получаемый по формуле (3), увеличивали на 5 мм (длина обмоток составляла 30...35 мм).

Расчетная методика определения компонент индукции может быть рекомендована не только для оптимизации конструкции УВ ПОМП, состоящей из стержней прямоугольного сечения, но и для стержней цилиндрической формы. Методика относится к варианту, когда основной металл (пластина) не является ферромагнетиком. Предлагаемый метод позволяет определить численные значения индукции B_x в точках на оси O_1Z_1 и индукции B_z в точках на оси O_2Z_2 .

Измерением индукции B_z у торцов стержней при изменении расстояния H от торца стержня до обмотки установлено, что при увеличении H индукция B_z уменьшается (при одинаковых значениях $I_k = 16$ А, $W = 100$).

Индукция B_z у торцов стержней подчиняется зависимости:

$$\frac{B_{z2max}}{B_{z1max}} = \frac{1}{(1 + 0,04 \cdot H_2^2)}, \quad (7)$$

где H_2 – принятое в расчетах значение размера H , м.

При вычислениях по формуле (7) изначально следует принять значение $H_1 = 0$, при котором наблюдается значение B_{z1max} . Если расстояние H_2 будет отличаться от принятого $H_1 = 0$ (обычно на практике $H_2 > H_1$), то необходимо определить значение значения B_{z2max} по формуле (7), подставив в нее значение H_2 . Эти значения B_{z2max} будут наблюдаться при данных значениях H_2 .

Если изменить значение $I \cdot W$ до $I_2 \cdot W_2 > I_1 \cdot W_1$ (либо $I_2 \cdot W_2 < I_1 \cdot W_1$), то необходимо изменить B_{zmax} пропорционально изменению $I \cdot W$ (увеличить, либо уменьшить), чтобы получить новое значение B_{zmax} , соответствующее новому принятому значению $I \cdot W$ (изначально принято, что $I \cdot W = 1600$).

Была установлена зависимость B_z/B_{zmax} от расстояния от торца стержня до рассматриваемой точки – z . При этом вычисляли эквивалентный радиус витка по формуле $r^2 = F_c/\pi$, который условно располагали в плоскости торца стержня ($z = 0$). Вычисляли значения B_z/B_{zmax} при изменении z (от значения $z = 0$) по формуле:

$$B_z/B_{zmax} = \frac{r^2}{(r^2 + z^2)^n}, \quad (8)$$

где n – показатель степени.

Экспериментальные данные удовлетворительно совпали с расчетными данными, вычисленными по формуле (8), если показатель степени $n = 1$ для использованных сечений стержней: 26×8 мм, 26×16 мм, 26×32 мм и 32×52 мм ($I_k = 16$ А, $H = 35$ мм, $W = 100$) и не зависят от расстояния a .

Экспериментально установлено, что абсолютные значения поперечной компоненты индукции B_{xmax} в точке O_1 на оси O_1Z_1 (рис. 1, а) зависят от параметра a . Следует отметить, что вычисленные данные о B_z (в мТл) у торцов стержней, являются исходными для дальнейших расчетов значений B_x в точках на оси O_1Z_1 . При этом расчет выполняется в порядке, изложенном выше для определения значений индукции B_z в точках на оси O_2Z_2 по формуле (8). Путем обработки экспериментальных данных об индукции B_x установлено, что

Машинобудування і зварювальне виробництво

в пределах $a \leq 20$ мм формула (8) со значением $n = 1,0$ подходит для определения B_x/B_{xmax} . Если $a > 20$ мм, то для определения B_x/B_{xmax} необходимо использовать эту формулу, изменив в ней показатели степени n :

– для $a = 40$ мм: $n = 0,8$;

– для $a = 60$ мм: $n = 0,5$.

Экспериментально установлено, что, если $a = 20$ мм, то при равных значениях координаты z значения индукции B_x вдоль оси O_1Z_1 составляют 70...80 % от значений индукции B_z под стержнем УВ ПОМП вдоль оси O_2Z_2 . При выполнении расчетов индукции B_x необходимо значения индукции B_z у торцов стержней УВ ПОМП уменьшить умножением на 0,7...0,8. Если значения a больше, чем 20 мм, то значения индукции B_x по отношению к значениям ее при $a = 20$ мм необходимо уменьшить умножением на коэффициент:

$$\frac{(r^2 + z^2)^n}{r^2 + z^2}, \quad (9)$$

где $n = 0,8$ мм при $a = 40$ мм и $n = 0,5$ при $a = 60$ мм.

Следует учесть, что, как и индукция B_z , индукция B_x уменьшается при увеличении расстояния H в соответствии с формулой (7).

На рис. 3 приведены вычисленные значения индукции B_z под стержнями УВ ПОМП для стержней УВ ПОМП сечением 26×16 мм и 26×32 мм. Такие размеры сечений стержней ПОМП достаточны для практического использования. Характерно, что при увеличении расстояния H от катушек до торцов стержней индукция B_x уменьшается практически линейно. С увеличением расстояния h значения B_z существенно уменьшаются.

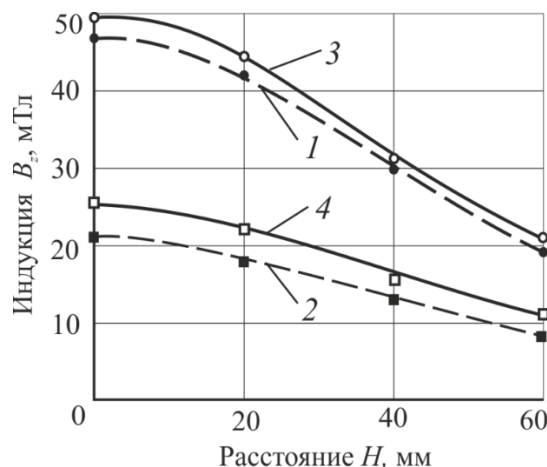


Рисунок 3 – Зависимость индукции B_z от расстояния H ($I \cdot W = 1600$):
 1, 2 – $F_c = 26 \times 16$ мм; 3, 4 – $F_c = 26 \times 32$ мм; 1, 3 – $H = 15$ мм; 2, 4 – $H = 30$ мм

На рис. 4 и рис. 5 приведены вычисленные значения компонент индукции B_x . Характерно, что значения компоненты индукции B_x у поверхности изделия – пластины значительно уменьшаются при увеличении расстояния, a и практически линейно уменьшаются при увеличении расстояния H . Для увеличения поперечной компоненты индукции B_x в головной части ванны целесообразно использовать минимальные значения параметров h и a (по возможности).

Машинобудування і зварювальне виробництво

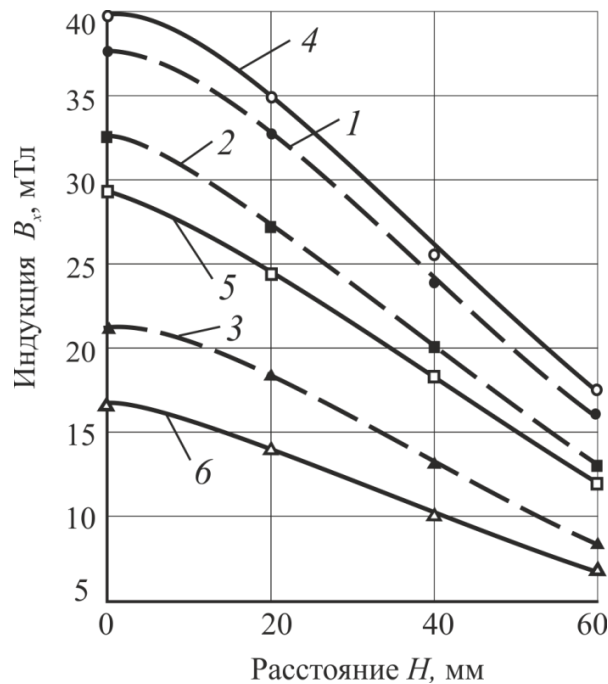


Рисунок 4 – Зависимость индукции B_x от расстояния H ($I \cdot W = 1600$, $h = 15$ мм):
 1, 2, 3 – $F_c = 26 \times 16$ мм; 4, 5, 6 – $F_c = 26 \times 32$ мм;
 1, 4 – $a = 20$ мм; 2, 5 – $a = 40$ мм; 3, 6 – $a = 60$ мм

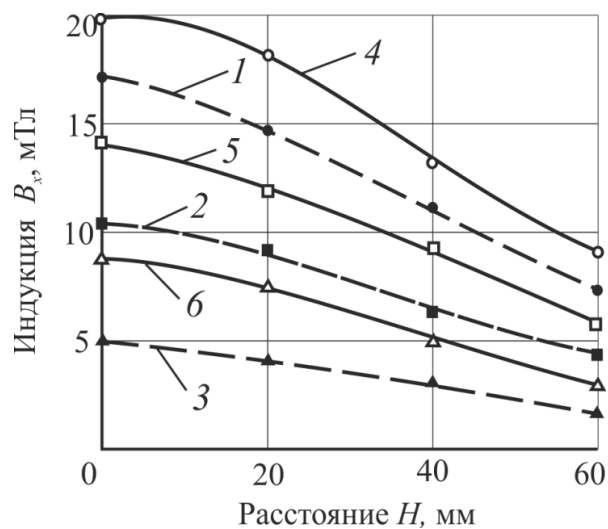


Рисунок 5 – Зависимость индукции B_x от расстояния H ($I \cdot W = 1600$, $h = 30$ мм):
 1, 2, 3 – $F_c = 26 \times 16$ мм; 4, 5, 6 – $F_c = 26 \times 32$ мм;
 1, 4 – $a = 20$ мм; 2, 5 – $a = 40$ мм; 3, 6 – $a = 60$ мм

Таким образом, по разработанной методике возможно определить численные значения компонент индукций B_z и B_x соответственно вдоль осей O_2Z_2 и O_1Z_1 (рис. 1) при различных значениях параметров: F_c ; a ; $I \cdot W$; H . В качестве исходных (как отмечалось) были приняты следующие параметры: $F_c = 26 \times 16$ мм ($F_c = 416$ мм²); $I \cdot W = 1600$; $H = 0$. Следует отметить, что у поверхности пластины (сварочной ванны) при расчете компоненты индукции B_x по формуле (8) необходимо принять значение $z = h$ (см. рис. 1, а).

Следует отметить, что предложенная методика рекомендуется для использования при дуговой наплавке и сварке изделий из материалов, не являющихся ферромагнетиками.

Если в конструкции УВ ПОМП стержни соединены сверху перемычкой (из того же материала и такого же поперечного сечения, что и стержни), то получаемые в расчетах значения компонент индукции B_x и B_z следует увеличить на 20...25 %.

ВЫВОДЫ

1. На основе полученных ранее обработкой экспериментальных данных формул расчетным путем определены численные значения индукции, генерируемой УВ ПОМП в головной части сварочной ванны, которые рекомендуются для практического использования.

2. Расчетная методика позволяет определить численные значения компонент индукции в головной части сварочной ванны, если известны размеры сечений стержней УВ ПОМП, либо определить их оптимальные размеры для достижения максимальных значений поперечной компоненты индукции при минимальных значениях продольной компоненты индукции в головной части сварочной ванны.

Список использованных источников:

1. Скиперский, Н. А. Формирование шва поперечным магнитным полем при сварке немагнитных материалов / Н. А. Скиперский, А. М. Рыбачук // Сварочное производство. – 2000. – № 7. – С. 53–55.

2. Иофинов, П. А. Влияние внешнего электромагнитного поля на скорость плавления электродной проволоки при автоматической наплавке под флюсом / П. А. Иофинов, В. С. Ибрагимов, А. К. Дмитриенко // Сварочное производство. – 1991. – № 1. – С. 34–35.

3. Размышляев, А. Д. Производительность расплавления электродной проволоки при дуговой наплавке под флюсом с воздействием поперечного магнитного поля / А. Д. Размышляев, М. В. Миронова // Автоматическая сварка. – 2011. – № 5. – С. 48–51.

4. Рыжов, Р. Н. Внешние электромагнитные воздействия в процессах дуговой сварки и наплавки (обзор) / Р. Н. Рыжов, В. Д. Кузнецов // Автоматическая сварка. – 2006. – № 10. – С. 36–44.

5. Размышляев, А. Д. Методика определения индукции управляющего магнитного поля в зоне ванны при дуговой сварке / А. Д. Размышляев, П. А. Выдмыш, М. В. Агеева // Автоматическая сварка. – 2018. – № 8. – С. 51–55.

Размышляев О. Д., Агеева М. В.

ДО РОЗРАХУНКУ ЧИСЕЛЬНИХ ЗНАЧЕНЬ ІНДУКЦІЇ КЕРУЮЧОГО ПОПЕРЕЧНОГО МАГНІТНОГО ПОЛЯ В ГОЛОВНІЙ ЧАСТИНІ ЗВАРЮВАЛЬНОЇ ВАННИ

Показано, що в даний час є розрахункові методики, що дозволяють визначити індукцію в зоні зварювальної ванни, яку генерують двострижневі пристрої введення (ПВ) поперечного магнітного поля (ПОМП) при дуговому зварюванні. Однак ці методики надзвичайно складні у використанні. У даній роботі запропонована розрахункова методика визначення чисельних значень компонент індукції ПОМП в головній частині зварювальної ванни при автоматичному зварюванні і напавленні дротом під флюсом. У головній частині

Машинобудування і зварювальне виробництво

ванни спостерігаються найбільші значення компонент щільності зварювального струму, що розтікається в зварювальній ванні, найбільші значення індукованих швидкостей потоків, і поруч знаходяться електродна крапля і зварювальна дуга, на які впливає ПОМП. Методика заснована на використанні експериментальних даних про величину індукції, що генерується ПВ ПОМП в зоні зварювальної ванни при різній величині перетинів стрижнів цих ПВ ПОМП. Вона дозволяє визначити чисельні значення компонент індукції в головній частині зварювальної ванни, якщо відомі розміри перетинів стрижнів ПВ ПОМП, або визначити їх оптимальні розміри для досягнення максимальних значень поперечної компоненти індукції при мінімальних значеннях поздовжньої компоненти індукції в головній частині зварювальної ванни. Розрахункова методика може бути використана не тільки для оптимізації конструкції ПВ ПОМП, що складається зі стрижнів прямокутного перерізу, а й для стрижнів циліндричної форми. Обчислювали значення поздовжньої компоненти індукції у торців стрижнів ПВ ПОМП в залежності від перетину стрижнів і числа ампервитків, розміщених на них обмотках. Методика і отримані розрахункові дані рекомендуються для використання при дуговому напавленні і зварюванні виробів з матеріалів, які не є ферромагнетиками. Наведено чисельні значення компонент індукції магнітного поля в головній частині ванни для деяких перетинів стрижнів ПВ ПОМП.

Ключові слова: поперечне магнітне поле, індукція, ферромагнетик, зварювальна ванна

Razmyshlyayev A. D., Ahieieva M. V.

TO CALCULATION OF NUMERICAL VALUES OF INDUCTION OF THE CONTROLLING CROSS-SECTION MAGNETIC FIELD IN THE HEAD OF THE WELDING BATH

It is shown that at present there are calculation methods that allow to determine induction in the weld pool area, which is generated by two-rod input devices (SW) of the transverse magnetic field (VMP) during arc welding. However, these techniques are extremely difficult to use. In the present work, we propose a computational technique for determining the numerical values of the induction components of the POMM at the head of the weld pool for automatic arc welding and surfacing under flux. In the head part of the bath, the highest values of the welding current density components flowing in the weld pool are observed, the highest values of the induced velocities flows, and next to them are the electrode drop and the welding arc, which are affected by POMP. The technique is based on the use of experimental data on the magnitude of the induction generated by the HMW SW in the weld pool zone at different values of the cross sections of the rods of these SWCMs. It makes it possible to determine the numerical values of the induction components in the head part of the weld pool if the dimensions of the cross sections of the HEP rods are known or to determine their optimum dimensions for achieving the maximum values of the transverse induction component with the minimum values of the longitudinal induction component at the head of the weld pool. A calculating technique can be used not only for the optimization of the design of the UHM POMM, consisting of rods of rectangular cross-section, but also for rods of cylindrical shape. The values of the longitudinal induction component at the ends of the HEP rods were calculated as a function of the cross-section of the rods and the number of ampere-turns placed on them in the windings. The method and the calculated data are recommended for use in arc welding and welding of products from materials that are not ferromagnets. Numerical values of the magnetic field induction components at the head of the bath for some cross sections of the HEP rods are presented.

Keywords: transverse magnetic field, induction, ferromagnetic, weld bath

Рецензент: д-р техн. наук, професор Щетинина В. И.

Статья поступила 24.09.2018

УДК 621.875

Сагіров Ю. Г.¹, Суглобов В. В.², Кухар В. В.³

СУЧАСНИЙ СТАН ТА ПЕРСПЕКТИВИ ОПТИМІЗАЦІЇ ПРОЕКТУВАННЯ МЕТАЛОКОНСТРУКЦІЙ ПОРТАЛЬНИХ КРАНІВ

Дана стаття присвячена аналізу, розвитку та удосконаленню існуючих методів проектування металоконструкцій підйомно-транспортних машин (ПТМ); розробці методології проектування металоконструкцій порталних кранів з використанням методів допустимих напружень та кінцевих елементів. Розроблені: розрахункова схема та просторова твердотільна модель порталу порталного крану для розрахунку методом кінцевих елементів, який реалізований у CAD/CAE системі.

Ключові слова: порталний кран, металоконструкція, оптимізація, просторова модель, портал, розрахункова схема, метод кінцевих елементів, синтез, критерії.

Постановка проблеми.

Несучі металоконструкції є найбільш відповідальними і дорогими елементами ПТМ. У процесі їх проектування особливо ретельно виконується аналіз можливих режимів навантажень машини і витримуються вимоги по статичній і втомній міцності, жорсткості і ін. Зазначено [1], що саме для несучих металоконструкцій оптимізаційний підхід до проектування є найбільш ефективним, так як навіть відносно невелике зниження їх ваги і габаритів призводить до суттєвої економії матеріальних, трудових і фінансових ресурсів, необхідних для виготовлення і експлуатації вантажно-підйомної техніки.

Сучасний стан та перспективи оптимального проектування металоконструкцій невід'ємно пов'язані з використанням сучасних CAD/CAE систем, які дають змогу ще на початкових етапах проектування знаходити найкращі конструктивні рішення шляхом застосування топологічної оптимізації. Разом із тим, на сьогодні досить небагато наукових та навчальних рекомендацій з розробки та побудови 3D моделей ПТМ (зокрема, порталних кранів), розрахункових схем для реалізації методу кінцевих елементів у середовищі сучасних CAD/CAE систем.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Відомо [2], що актуальною та значною проблемою є удосконалення методів оптимізації складних кінцево-елементних моделей під час проектування. Разом із тим, застосування методів топологічної оптимізації є відносно новим компонентом проектування [3]. На сьогодні виділяють [4] «три методики розрахунків металевих конструкцій ПТМ:

- 1) за допустимим напруженням (СРДН);
- 2) система імовірнісних розрахунків (СВР);
- 3) за граничним станом (СРГС)».

Однак, для аналізу напружено-деформованого стану складних просторових конструкцій, що складаються з безлічі елементів, як найбільш поширений, виділяють також [5] метод кінцевих елементів (МКЕ). МКЕ - це чисельний метод рішення диференціальних рівнянь з частинними похідними. Метод широко застосовується для вирішення завдань механіки деформованого твердого тіла, механіки руйнування, теплопровідності і

¹ канд. техн. наук, доц., ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет», м. Маріуполь

² д-р техн. наук, проф., ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет», м. Маріуполь

³ д-р техн. наук, проф., ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет», м. Маріуполь

Машинобудування і зварювальне виробництво

теплообміну (у розрахунках напружено-деформованого стану підйомно-транспортних машин, у розрахунках температурних полів в зоні зварних з'єднань).

Крім того, є багато прикладів застосування МКЕ та сучасних CAD/CAE систем для вирішення завдань оптимізації конфігурації деталей машин і елементів конструкцій вантажно-підйомних машин [6-14].

Мета дослідження.

Вказана проблема визначає наступні основні завдання: критичний аналіз існуючих методів проектування та оптимізації металоконструкцій вантажно-підйомних машин; аналіз сучасних CAD/CAE систем для реалізації розрахунків на міцність методом кінцевих елементів; розробка розрахункових схем та 3D моделей для реалізації методу кінцевих елементів у середовищі сучасних CAD/CAE систем.

Основний матеріал дослідження.

Портальні крани є найбільш поширеними засобами механізації навантажувально-розвантажувальних робіт портових перевантажувальних комплексів для штучних і навалювальних вантажів, монтажних і складальних робіт на суднобудівельних і судноремонтних заводах, в плавучих доках, а також будівельно-монтажних робіт при спорудженні великих і унікальних об'єктів, зокрема гідротехнічних: гребель, каналів, гідроелектростанцій і ін. Серед відомих виробників портальних кранів можна назвати завод будівельних машин VEB Baumechanik (Німеччина), Маріупольський завод Азовмаш, Ganz (Угорщина), підприємства Bleichert, Takraff, Liebherr (Німеччина), Конесранес (Фінляндія) заводи АТ «ПОДЪЕМТРАНСМАШ» і «Сибтяжмаш» та ін. Незважаючи на досить великий досвід проектування і виготовлення портальних кранів, аналіз результатів експлуатації і обстежень кранів показав, що дефекти в несучих елементах металоконструкції виникають і у відносно нових (до 20 років експлуатації) портальних кранів.

Проектування – складний і відповідальний процес який важко формалізувати. Він об'єднує такі важливі процедури, як синтез структури, вибір параметрів елементів, аналіз і ухвалення рішення. Великий внесок у розвиток теоретичних основ кранобудування внесли учені-фахівці з міцності зварних металоконструкцій: М. П. Александров, М. М. Гохберг, С. А. Козак, Б. С. Ковальский, А. В. Вершинський, Н. А. Лобов, П. Е. Богуславський, Є. М. Концевий, Ф. К. Іванченко, С. М. Андрієвский, А. П. Нестеров, А. І. Дукельський, В. Ф. Семенюк, О. В. Григоров, Л. Я. Будіков, Л. А. Хмара, Л. М. Мартовицький, І. І. Назаренко, С. В. Ракша, В. О. Пенчук, Р. М. Рогатинський, В. А. Малащенко, В. Г. Крупко та багато інших.

Значний вклад у розробку методів розрахунку і основ оптимізації металевих конструкцій внесли багато дослідників: В. С. Котельніков, И. М. Рабинович, А. І. Богатрьов, Н. Д. Сергеев, Д. А. Мацюлявичюс, К. М. Хуберян, А. А. Чирас, В. Г. Темнов, Ю. Б. Гольдштейн, Е. Мушик, П. Мюллер, П. С. Фішберн, Е. Д. Хог, Дж. С. Арора, Р. Т. Хафтка, Е. Атрек, Г. Н. Вандерплаатс, Л. А. Шміт, Шеффлер, Пайер, Хорн та інші.

У роботах кафедри Підйомно-транспортних машин і деталей машин Приазовського державного технічного університету (м. Маріуполь) впродовж останніх років вирішено багато важливих завдань зменшення напруженого стану елементів металоконструкції, синтезу, силового і міцнісного розрахунків, проектування елементів металоконструкції і обладнання портальних кранів з використанням сучасних CAD/CAE систем. На сьогодні в проектуванні металоконструкцій, зокрема при їх розрахунку, більшою мірою використовуються програмні комплекси, такі як SCAD, Ansys, Nastran, Лира, Solid Works, STARK, NX і інші. Вище перелічені програми у своїй основі реалізують класичні методи розрахунку конструкцій на основі методу кінцевих елементів. З розвитком обчислювальної техніки вони знаходять все більше застосування. Крім того, на підприємствах впроваджуються CALS-системи, що дозволяють автоматизувати всі процеси, пов'язані з

життєвим циклом виробу, який включає в себе проектування, підготовку виробництва, виробництво, експлуатацію та утилізацію [14].

Особливо важлива початкова стадія проектування, коли вибираються ефективний фізичний принцип дії, раціональне технічне рішення і визначаються оптимальні значення параметрів. Вибір параметрів та ефективного методу рішення задач оптимізації металоконструкції є важливим етапом проектування. Багато авторів приділяють увагу вирішенню цього завдання [16-19 та ін.]. Зазначено [20], що значне число праць описує проектування конкретних об'єктів і містить відомості тільки про алгоритми і результати їх проектування. Часто, розрахункові схеми об'єктів оптимізації гранично спрощені - для них характерно мале число проектних змінних. При цьому найчастіше розглядаються модельні об'єкти (балки, пластинки, оболонки), а не реальні конструкції з характерною для практичних завдань проектування складністю моделей. У роботі [20] досить детально розглянуті існуючі методи, наведено приклади та запропонована технологія вирішення питань оптимізації навантажених багатокомпонентних конструкцій і технологічних систем. Робота [21] присвячена розгляду основних методів топологічної оптимізації, що застосовуються для збільшення питомої міцності вузлів аерокосмічної техніки шляхом оптимізації їх геометричних параметрів. Зазначено, що зменшення маси і збільшення питомої міцності конструкцій, які використовуються в аерокосмічній галузі, є найважливішим завданням, що стоїть перед конструкторами усього світу. Рішення даних проблем безпосередньо пов'язують з завданням пошуку оптимальних геометричних параметрів проектованого виробу [22]. В даний час для вирішення цього завдання використовуються методи топологічної оптимізації. Застосування методик оптимального проектування дозволяє знайти найкращі параметри конструкції, що задовольняють технологічним обмеженням і обмеженням за міцністю, забезпечуючи, таким чином, мінімум цільової функції [23].

На сьогодні методи топологічної оптимізації є відносно новим компонентом процедури проектування, але все частіше застосовуються, наприклад, в аерокосмічній промисловості. Найбільший поштовх у своєму розвитку вони отримали при появі можливості використання у виробництві адитивних технологій. Адитивне виробництво («Адитивне виробництво» (Additive Manufacturing) - офіційний галузевий термін, затверджений організаціями зі стандартизації ASTM (American Society for Testing and Materials) і ISO – процес з'єднання матеріалів для створення об'єктів на основі даних тривимірних моделей, як правило, пошарово, на відміну від субтрактивного методу і методу формування. Адитивні технології дозволили розширити область конструктивного виконання одного і того ж виробу [24]. Для деталей, що застосовуються в аерокосмічній галузі, основними завданнями топологічної оптимізації є мінімізація маси виробу при обмеженнях міцності [25]. Як стверджує автор [26], застосування адитивних технологій за галузями економіки розподіляється так: 21 % – виробництво споживчих товарів і електроніки; 20 % – автомобілебудування; 15 % – медицина, включаючи стоматологію; 12 % – авіабудування і космічна галузь виробництва; 11 % – виготовлення засобів виробництва; 8 % – військова техніка; 8 % – освіта; 3 % – будівництво. Також відзначена динаміка зростання адитивних технологій – за останні п'ять років становить 27 %. Такі гіганти, як Boeing, Hewlett Packard, Ford, GE та інші активно адаптують 3D-друк і сканування під свої потреби. Відомо [27], що світовий ринок адитивних технологій в 2013 р. становив близько 3,8 млрд доларів США. Перше місце в цій сфері належить США, потім йдуть Японія, Німеччина і Китай, хоча і з чотирикратним відставанням. Провідна світова дослідницька компанія у сфері інформаційних технологій Gartner прогнозує, що за її оцінками в 2019 р. ринок адитивних технологій становитиме 14,6 млрд доларів [28]. Вперше в Україні в 2001 р. унікальну технологію Rapid Prototyping, відому як технологія 3D-друку, яка до 2014 р. не мала аналогів

Машинобудування і зварювальне виробництво

в Україні, було встановлено в Харківському національному технічному університеті “Харківський політехнічний інститут”. На сьогодні термін Rapid Prototyping або “швидке прототипування” рекомендовано вилучити з обігу, як такий, що втратив сенс розуміння сучасних адитивних технологій. За стандартами ASTM [26] рекомендовано застосовувати два основні терміни – Additive Fabrication (AF), і Additive Manufacturing (AM), а також синоніми – additive processes, additive techniques, additive layer manufacturing, layer manufacturing і freeform fabrication, які можуть бути коректно перекладені як “адитивні технології”. Враховуючи стрімкий розвиток цих технологій у різних галузях промисловості, вважаємо, що вони можуть і повинні бути застосовані під час проектування/виготовлення елементів ПТМ.

Однією з основних умов оптимального проектування металевих конструкцій порталних кранів є створення раціональних конструктивних схем при вигідних значеннях їх геометричних параметрів і розмірів елементів. Завдання зниження маси при забезпеченні міцності та стійкості виходить на передній план, оскільки в значній мірі визначає вартість машини в цілому. Досить багато праць присвячено вирішенню питань оптимального проектування та оптимізації елементів і металоконструкції ПТМ [29-36 та ін.]. Разом із тим, серед основних виробничих причин аварій зварних сталевих конструкцій ПТМ в Україні виділяють [4]:

1. Недосконалість норм та технічних умов (6 %)
2. Низька якість сталі та металопродукції (11 %)
3. Дефекти виготовлення конструкцій (12 %)
4. Порушення розрахункових схем навантажень при експлуатації (14 %)
5. Помилки проекту (27 %)
6. Дефекти монтажу конструкцій (30 %)

Найбільше аварій виникало через дефекти монтажу та помилки проекту, «які є наслідком не завжди чіткого уявлення роботи конструкцій на кожній стадії та етапі монтажу, а також помилок при розрахунках та конструюванні» [4]. Це ще раз підтверджує актуальність завдання розвитку та уточнення існуючих методів, розробки нових методик проектування металоконструкцій ПТМ.

З нашої точки зору, оптимізація проектування металоконструкцій ПТМ повинна базуватись на використанні МКЕ та сучасних CAD/CAE систем. Основою оптимізації металоконструкції, зокрема, за критерієм масоємності, може бути топологічна оптимізація. Разом із тим вважаємо, що об'єктивне використання цих методів є неможливим без застосування аналітичних розрахунків, що базуються на відомих інженерних методах проектування ПТМ.

Основою оптимізаційного пошуку для найуразливішої частини металоконструкції, що визначає її надійність, слід рахувати якісний аналіз напружено-деформованого стану системи та чітке уявлення роботи конструкції. При цьому можливе проведення пошуку деякої структури, внаслідок чого має бути отримана оптимальна конфігурація кожного з її елементів в межах певного рівня навантаженості. Ці дослідження, з нашої точки зору, найдоцільніше проводити на базі звичайно-елементних моделей, створених за допомогою спеціальних програмних комплексів та сучасного інструментарію CAD/CAE систем з виконання топологічної оптимізації.

Раніше перелічені програмні комплекси CAD/CAE у своїй основі реалізують класичні методи розрахунку конструкцій на основі методу кінцевих елементів. Основними етапами розрахунку будь-якої конструкції методом кінцевих елементів є:

1. Розробка і побудова 3D моделі;
2. Вибір і призначення матеріалу;
3. Визначення параметрів для побудови сітки кінцевих елементів;

Машинобудування і зварювальне виробництво

4. Побудова сітки кінцевих елементів;
5. Визначення закріплень моделі;
6. Визначення місць прикладань та напрямків зовнішніх сил;
7. Налаштування розрахунку (якщо необхідно);
8. Розрахунок конструкції;
9. Перегляд результатів (побудова епюр розподілу напружень, переміщень та ін.);
10. Аналіз результатів.

У разі переривання розрахунку або отримання некоректних результатів необхідно перевірити адекватність моделі, внести зміни або побудувати нову модель і повторити розрахунок.

Раніше [12] було наведено методику аналізу напружено-деформованого стану баштових циліндричних колон порталних кранів, запропоновано розрахункову схему. На сьогодні, для виконання розрахунку з використанням МКЕ за цією методикою розроблено модель порталу порталного крану (рис. 1), в якій враховані всі елементи несучої металоконструкції. Рівень програмного забезпечення та технічна характеристика сучасних комп'ютерів дозволили значно підвищити ступінь точності моделей та розрахунків, що відрізняє їх, від побудованих і запропонованих раніше [37].

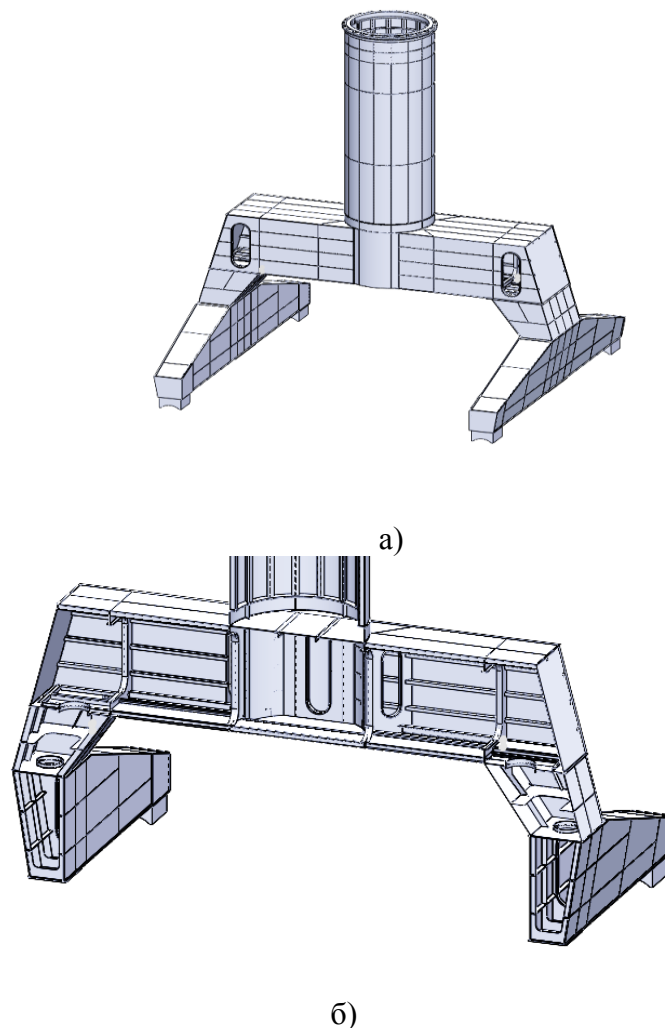


Рисунок 1 – Модель портала: а - загальний вигляд; б - переріз

Машинобудування і зварювальне виробництво

У середовищі CAD/CAE системи побудовано «сітку кінцевих елементів» (рис 2.). Отримані результати потребують подальшого дослідження та детального аналізу (реалізація розрахунку МКЕ, побудова епюр розподілу напружень, переміщень та ін.).

Перевірити адекватність побудованої моделі, після реалізації МКЕ, дозволять: накопичений досвід теоретичних досліджень і практичного проектування обладнання і металоконструкцій кранів; застосування апробованих в інших галузях машинобудування методів розрахунку і аналізу конструкцій з використанням методу кінцевих елементів та сучасних CAD/CAE систем; зіставлення результатів розрахунку з даними, отриманими іншими науковцями, що вирішували подібні завдання та підприємствами, які експлуатують порталні крани, займаються їх ремонтом і реконструкцією та.

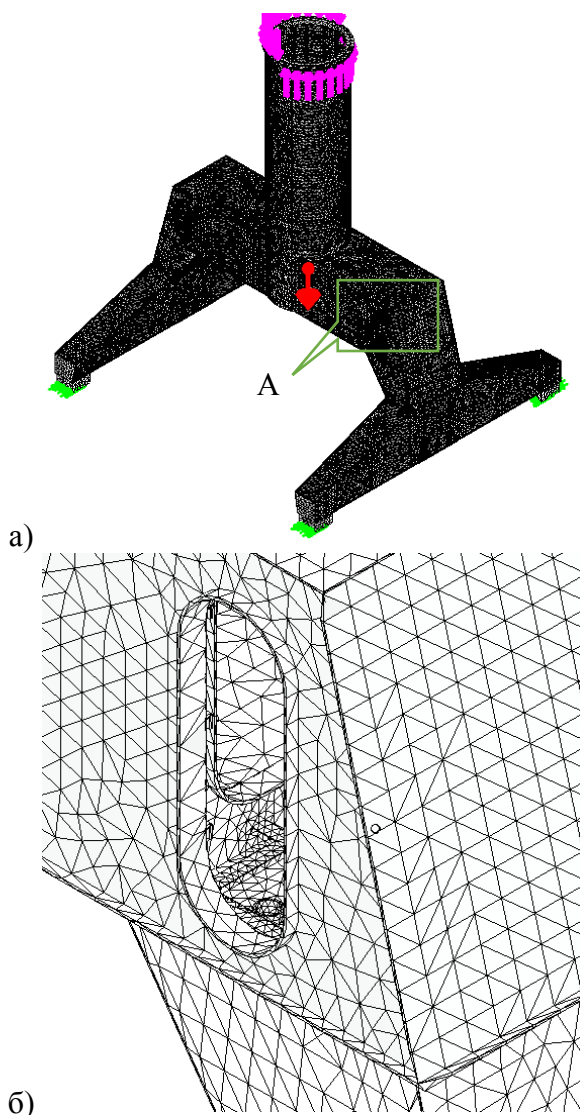


Рисунок 2 – Сітка кінцевих елементів: а - загальний вигляд; б – А-збільшено

ВИСНОВКИ

1. Методи проектування металоконструкцій (зокрема порталних кранів) які існують на сьогодні, потребують розвитку та уточнення, оскільки не дозволяють отримати чітку картину напружено-деформованого стану металоконструкції у цілому.

Машинобудування і зварювальне виробництво

2. Несучі металоконструкції є найбільш відповідальними і дорогими елементами ПТМ, тому розробка оптимізованої методики їхнього проектування із застосуванням сучасних CAD/CAE систем для реалізації розрахунків на міцність методом кінцевих елементів є актуальною науково-технічною проблемою.

3. Рівень програмного забезпечення та технічна характеристика сучасних комп'ютерів дозволяють значно спростити процес розробки та підвищити ступінь точності моделей для застосування МКЕ.

4. Залишається ще ціла низка запитань оптимізації металоконструкції порталних кранів, яка включає: вибір основних параметрів конструкцій, що відповідають їх функціональному призначенню; вибір оптимальних форми та перерізу елементів металоконструкції, профілів з метою мінімальної витрати металу, рівномірного розподілу напружень, забезпечення плавності силового потоку.

Перелік використаних джерел:

1. *Лагерев, И. А.* Оптимальное проектирование подъемно-транспортных машин / *И. А. Лагерев, А. В. Лагерев.* – Брянск: Издательство БГТУ, 2013. – 228 с.
2. *Назаренко, С. А.* Разработка технологии оптимизации нагруженных многокомпонентных конструкций и технологических систем [Электронный ресурс] / *С. А. Назаренко.* – Харьков, 2016. – 35 с. – Режим доступа: <http://repository.kpi.kharkov.ua/handle/KhPI-Press/22751>
3. *Башин, К. А.* Методы топологической оптимизации конструкций, применяющиеся в аэрокосмической отрасли / *К. А. Башин, Р. А. Торсунов, С. В. Семенов* // Вестник ПНИПУ. Аэрокосмическая техника. – 2017. – № 51. – С. 51–61.
4. *Григорьев, О. В.* Металеві конструкції підйомно-транспортних, будівельних, дорожніх, меліоративних машин: навч. посібник / *О. В. Григорьев, Г. О. Аніщенко, Н. О. Петренко.* – Харків : НТУ «ХПІ», 2011. – 516 с.
5. *Лагерев, И. А.* Расчеты грузоподъемных машин методом конечных элементов: монография / *И. А. Лагерев.* – Брянск: Издательство БГТУ, 2013. – 116 с.
6. *Гребенюк, Г. И.* Основы расчета и оптимизации конструкций с использованием метода конечных элементов / *Г. И. Гребенюк, Б. Н. Попов, Е. В. Яньков.* – Новосибирск : [Б. И.], 1992. – 96 с.
7. *Сагиров, Ю. Г.* Методика оценки прочности деталей машин с использованием COSMOS / *Ю. Г. Сагиров, В. П. Лаврик* // Trends of modern science – 2017 : materials of the XIII International scientific and pract. conf. (Sheffield, 30 May – 07 June 2017 y.). – Sheffield, 2017. – Vol. 15 : Technical science. – P. 12–16.
8. *Сергиевский, С. А.* Дискретная оптимизация в MSC.Nastran : метод. указания / *С. А. Сергиевский.* – М. : MacNeal-Schwendler Corporation, 1998. – 24 с.
9. Оптимизация в MSC.Patran : метод. указания. – М. : MacNeal-Schwendler Corporation, 1998. – 55 с.
10. *Сагиров, Ю. Г.* Определение прочности зубчатого колеса методом конечных элементов в среде Solid Works / *Ю. Г. Сагиров, О. А. Качалова* // Университетская наука - 2017 : тез. докл. Междунар. научно-техн. конф. (Мариуполь, 18–19 мая 2017 г.) : в 3 т. / ГВУЗ «ПГТУ». – Мариуполь, 2017. – Т. 2. – С. 37–38.
11. *Лаврик, В. П.* Використання САПР при аналізі напруженого стану зношених деталей ПТО / *В. П. Лаврик, Ю. Г. Сагиров, Д. О. Михайленко* // Университетская наука - 2016 : тез. докл. Междунар. научно-техн. конф. (Мариуполь, 19–20 мая 2016 г.) : в 4 т. / ГВУЗ «ПГТУ». – Мариуполь, 2016. – Т. 2. – С. 57–59.

12. Сагиров, Ю. Г. Уточненный метод анализа напряженно-деформированного состояния колонны порталного крана / Ю. Г. Сагиров // Передовые научные разработки : Междунар. научно-техн. конф. (Прага, 27 августа – 05 сентября 2012 г.). – Прага, 2012. – Т. 11 : Технические науки. Технология и спорт. – С. 38–40.
13. Сагиров, Ю. Г. Пространственное моделирование и долговечность металлоконструкции мостовых кранов / Ю. Г. Сагиров // Динамика научных исследований : Междунар. научно-техн. конф. (Пшемысль, 07 – 17 июля 2012 г.). – Przemysl, 2012. – Т. 24 : Технические науки. – С. 28–31.
14. Сагиров, Ю. Г. Анализ конструкции мостовых кранов на ЭВМ / Ю. Г. Сагиров, В. В. Суглобов, А. Н. Катков // Университетская наука-2007 : в 2 т. : тез. докл. Междунар. научно-техн. конф. (Мариуполь, 23-25 мая 2009 г.) / ПГТУ. – Мариуполь, 2007. – Т. 2. – С. 55.
15. Норенков, И. П. Информационная поддержка наукоемких изделий. CALS-технологии / И. П. Норенков, П. К. Кузьмик. – М. : МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2002. – 320 с.
16. Bahmani, S. Greedy sparsity-constrained optimization / S. Bahmani, B. Raj, P. T. Boufounos // Journal of Machine Learning Research. – 2013. – № 14. – P. 807–841.
17. Choi, W. Comparison study of some commercial structural optimization software systems / W. Choi, J. Kim, G. J. Park // Structural and Multidisciplinary Optimization. – 2016. – С. 1–15.
18. Deng, S. Multi-constrained topology optimization via the topological sensitivity / S. Deng, K. Suresh // Structural and Multidisciplinary Optimization. – 2015. – Т. 51, № 5. – С. 987–1001.
19. Distributed Optimization and Statistical Learning via the Alternating Direction Method of Multipliers / S. Boyd [et al.] // Foundations and Trends in Machine Learning. – 2011. – N 3(1). – P. 1–12.
20. Назаренко, С. А. Разработка технологии оптимизации нагруженных многокомпонентных конструкций и технологических систем [Электронный ресурс] / С. А. Назаренко. – Электрон. текстовые данные. – Харьков, 2016. – 35 с. – Режим доступа: <http://repository.kpi.kharkov.ua/handle/KhPI-Press/22751>
21. Башин, К. А. Методы топологической оптимизации конструкций, применяющиеся в аэрокосмической отрасли / К. А. Башин, Р. А. Торсунов, С. В. Семенов // Вестник ПНИПУ. Аэрокосмическая техника. – 2017. – № 51. – С. 51–61.
22. Оганесян, П. А. Оптимизация топологии конструкций в пакете ABAQUS / П. А. Оганесян, С. Н. Шевцов // Известия Самар. науч. центра РАН. – 2014. – Т. 16. – С. 543–549.
23. Темис, Ю. М. Оптимизация конструкции деталей и узлов ГТД / Ю. М. Темис, Якушев Д. А. // Вестник СГАУ. – 2011. – № 3-1. – С. 183–188.
24. Боровиков, А. А. Топологическая оптимизация переходного отсекака / А. А. Боровиков С. М. Тененбаум // Аэрокосм. науч. журнал МГТУ им. Н. Э. Баумана. – 2016. – № 5. – С. 16–30.
25. Васильев, Б. Е. Анализ возможности применения топологической оптимизации при проектировании неохлаждаемых рабочих лопаток турбин / Б. Е. Васильев, Л. А. Магеррамова // Вестник СГАУ. – 2015. – № 3-1. – С. 139–147.
26. Андросюк, Г. О. Адитивні технології : перспективи і проблеми 3D-друку / Г. О. Андросюк // Наука, технології, інновації. – 2017. – № 1. – С. 68–77.
27. Wohlers report 2014 : Additive manufacturing and 3D-printing state of the industry: Annual world-wide progress report – Colorado : Wohlers Associates, 2014. – 276 p.
28. Basiliere, P. 3D Printer Market Sales Will Exceed \$14.6 billion in 2019 [Electronic resource] / P. Basiliere. – Mode of access: <https://blogs.gartner.com/pete-basiliere/2015/09/29/3d-printer-market-sales-will-exceed-14-6-billion-in-2019/>

29. Металлические конструкции ПТМ / под ред. М. М. Гохберга. – Л. : Машиностроение, 1976. – 456 с.
30. Справочник по кранам. Т. 1 / под ред. М. М. Гохберга. – Л. : Машиностроение, 1988. – 535 с.
31. Металлические конструкции ПТМ / С. А. Соколов. – СПб. : Политехника, 2005. – 423 с.
32. Гелетій, В. М. Комп'ютерне моделювання напружено-деформованого стану елементів опорно-поворотного пристрою автокранів з модифікованими роликками / В. М. Гелетій, Я. М. Новіцький, В. В. Федик // Вісник Нац. ун-ту «Львівська політехніка». – Львів, 2015. – № 820 : Динаміка, міцність та проектування машин і приладів. – С. 13–20.
33. Лагерев, А. В. Оптимизация конструкции крана-манипулятора машины для сварки магистральных трубопроводов при модернизации / А. В. Лагерев, И. А. Лагерев // Подъемно-транспортное дело. – 2013. – № 1. – С. 7–9.
34. Лагерев, А. В. Оптимальное проектирование валов барабанов грузоподъемных кранов мостового типа на основе моделирования усталостного отказа / А. В. Лагерев, И. А. Лагерев // Вестник БГТУ. – 2008. – № 2. – С. 57–65.
35. Лагерев, А. В. Оптимальное проектирование вала барабана грузоподъемных кранов общего назначения / А. В. Лагерев, И. А. Лагерев // Вестник БГТУ. – 2006. – № 4. – С. 14–21.
36. Лагерев, А. В. Оптимальное проектирование приводных и отклоняющих барабанов ленточных конвейеров / А. В. Лагерев / Брянский гос. техн. ун-т. – Брянск, 1997. – 14 с. – Деп. в ВИНТИ 19.12.97, № 3706-В97.
37. Аналитический метод исследования надежности металлоконструкции порталного крана / Ю. Б. Гусев [и др.] // Захист металургійних машин від поломок : зб. наук. пр. / ПДТУ. – Маріуполь, 2000. – Вип. 5. – С. 182–185.

Sahirov Y., Suglobov V., Kukhar V.

MODERN CONDITION AND PERSPECTIVES OF OPTIMIZATION PROJECTION OF METAL CONSTRUCTIONS OF PORTAL CRANES

Bearing steel structures are the most responsible and expensive elements of cranes. In the course of their design, the analysis of possible modes of loading and compliance with the requirements for static and fatigue strength, stiffness, and more is carried out especially carefully. It is noted that the optimization approach to design is most effective for bearing metal structures, since even a relatively small reduction in their weight and dimensions leads to significant savings in material, labor and financial resources required for the manufacture and operation of loading and lifting equipment.

The current state and prospects for the optimal design of metal structures are inherently associated with the use of modern CAD / CAE systems, which make it possible to find the best design solutions at the initial design stages by applying topological optimization. However, today there are not many scientific recommendations for the development and construction of three-dimensional models of cranes.

One of the main conditions for the optimal design of metal structures of cranes is the creation of rational design schemes with favorable values of their geometrical parameters and dimensions of elements. The task of reducing weight while ensuring strength comes to the fore, since it largely determines the value of the machine as a whole.

Keywords: portal crane, metal construction, optimization, spatial model, portal, design scheme, finite element method, synthesis, criteria.

Сагиров Ю. Г., Суглобов В. В., Кухарь В. В.

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ ОПТИМИЗАЦИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ МЕТАЛЛОКОНСТРУКЦИЙ ПОРТАЛЬНЫХ КРАНОВ

Несущие металлоконструкции являются наиболее ответственными и дорогостоящими элементами грузоподъемных кранов. В процессе их проектирования особенно тщательно выполняется анализ возможных режимов нагружений и соответствия требованиям по статической и усталостной прочности, жесткости и др. Отмечено, что именно для несущих металлоконструкций оптимизационный подход к проектированию является наиболее эффективным, так как даже относительно небольшое снижение их веса и габаритов приводит к существенной экономии материальных, трудовых и финансовых ресурсов, необходимых для изготовления и эксплуатации подъемно-транспортной техники.

Современное состояние и перспективы оптимального проектирования металлоконструкций неотъемлемо связаны с использованием современных САД / САЕ систем, позволяющих еще на начальных этапах проектирования находить лучшие конструктивные решения путем применения топологической оптимизации. Вместе с тем, на сегодняшний день недостаточно научных рекомендаций по разработке и построению 3D моделей грузоподъемных кранов

Одним из основных условий оптимального проектирования металлических конструкций порталных кранов является создание рациональных конструктивных схем при выгодных значениях их геометрических параметров и размеров элементов. Задача снижения массы при обеспечении прочности и устойчивости выходит на передний план, поскольку в значительной степени определяет стоимость машины в целом.

Ключевые слова: порталный кран, металлоконструкция, оптимизация, пространственная модель, портал, расчетная схема, метод конечных элементов, синтез, критерии.

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Ищенко А. А.

Статья надійшла 19.10.2018 р.

УДК 621.791.052:539.4

Сергиенко Ю. В., Иванов В. П.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЧНОСТИ СВАРНЫХ РЕЛЬСОВЫХ СТЫКОВЫХ СОЕДИНЕНИЙ С МЯГКОЙ ПРОСЛОЙКОЙ ПРИ СТАТИЧЕСКОМ ИЗГИБЕ

Предложена методика и проведены испытания на статический изгиб сварных рельсовых стыков. Исследовано влияние варианта и ширины мягкой прослойки на напряженно-деформированное состояние сварного соединения. Установлены оптимальные параметры размеров стыка. Осуществлен выбор сварочных материалов, обеспечивающих условия равнопрочности шва.

Ключевые слова: сварка рельсов, стыковые соединения, механическая неоднородность, мягкая прослойка, изгиб, прочность, контактное упрочнение.

Использование бесстыковых (сварных) рельсовых путей в условиях промышленных предприятий позволяют снизить расходы на текущее содержание, продлить сроки службы

верхнього строения пути ($10 \div 25\%$), уменьшить износ подвижного состава и обеспечить экономию металла на стыковых соединениях (5-7 т на 1 км) [1]. В [2] был проведен сравнительный анализ существующих способов сварки с целью выявления наиболее оптимального способа сварки стыков рельсов в полевых условиях промышленных предприятий и при ремонтных работах. На основании анализа существующих способов сварки предложено для соединения рельсов по длине в условиях промышленных предприятий применить полуавтоматическую сварку сплошной проволокой в среде защитного газа.

В сварных соединениях при определенном выборе материала электрода при изгибе возникает сложнапряженное состояние, что может оказывать значительное влияние на механические свойства шва и околошовной зоны. Известно, что способность такого соединения сопротивляться нагрузкам зависит от напряженного состояния сварной конструкции (рис. 1).

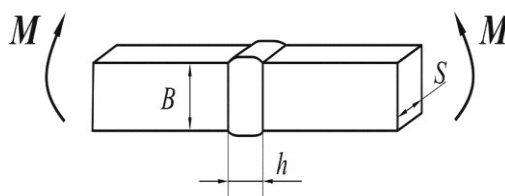


Рисунок 1 – Расчетная схема изгиба стыкового сварного соединения с мягкой прослойкой

Кроме того, характерной особенностью таких швов является наличие твердого участка в верхней части стыка, у головки рельса, который наплавляется материалом повышенной твердости для обеспечения необходимой контактной выносливости поверхности соприкосновения с колесом и ребордой.

Исследования, представленные в [3-9], посвящены проблемам механической неоднородности стыковых сварных соединений и влиянию параметров мягкой прослойки на напряженно-деформированное состояние соединений, нагруженных осевыми нагрузками и изгибающим моментом. В работах [2, 8] проведен теоретический анализ распределения напряженного состояния при осевом растяжении сварных швов с мягкой прослойкой, выполненных в узкощелевую разделку. Установлено, что в области вязких разрушений прочность и долговечность сварных соединений с мягкой прослойкой повышаются с

уменьшением ее относительной ширины $\chi = \frac{h}{B}$ [3]. В [5, 6] указывается, что на величину предельного изгибающего момента сварных соединений в значительной степени оказывают влияние степень механической неоднородности и относительная толщина мягкой прослойки χ [5], а также термоциклирование [6]. С ее уменьшением предельный изгибающий момент увеличивается по гиперболическому закону. В то же время установлено [7,9], что дальнейшее уменьшение относительной толщины приводит к снижению прочностных свойств сварного соединения.

Целью настоящей работы являлось исследование геометрических и прочностных параметров мягкой прослойки, обеспечивающих получение равнопрочных стыковых сварных рельсовых соединений при статическом изгибе. При этом решались следующие задачи: 1) определение размеров оптимальных зазоров для получения равнопрочных сварных соединений; 2) выбор электродных материалов для получения лучших характеристик сварных рельсов.

Статические испытания сварных рельсовых стыков осуществляли по следующей методике. Испытания проводились для четырех серий образцов: без сварного соединения и с сварным стыковыми швами с зазором между соединяемыми кромками $10 \div 30$ мм с шагом 10 мм.

Метод контроля сварных стыков рельсов проводился в соответствии с ГОСТ 24182-80. Для проверки качества сварных стыков проводились испытания контрольных образцов общей длиной не менее 1200-1300 мм. Контрольный образец укладывался на две опоры с расстояниями между ними 1000 мм. Схема испытаний представлена на рис. 2.

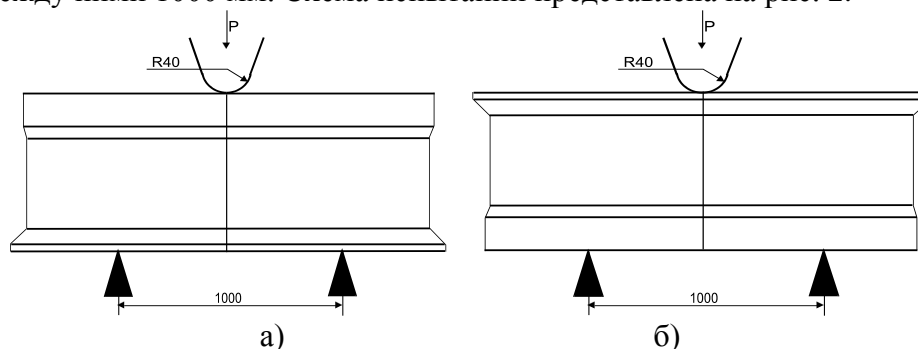


Рисунок 2 – Схема испытаний при статическом нагружении сварного соединения в зависимости от зазора стыка:
а) на головку рельса: б) на подошву рельса

Статическая нагрузка прикладывалась в зоне сварного стыка, расположенного посередине пролета. Испытания проводились с двумя вариантами нагружения: сила приложена к головке рельса (рис. 2, а), сила приложена к подошве рельса (рис. 2, б) [10-12]. В первом случае в растянутой зоне находится подошва рельса, а сила прилагается к головке. Во втором случае в растянутой зоне находится головка рельса, а сила прилагается к подошве. Для каждой схемы испытаний было разрушено по четыре образца. Общее число разрушенных образцов составило 32 шт. Испытания проводились до разрушения рельсов на прессе ПР-500, имеющем максимальное усилие 5000 кН и три шкалы нагружения. Испытания проводились в диапазоне от 0 до 1000 кН (первая шкала). Усилие фиксировалось на силоизмерителе с записью диаграммы нагружения. Пресс тарировался по двум динамометрам ДОСМ-50, рассчитанным на 500 кН каждый [11]. Согласно требованиям технических условий, на рельсы Р65 новые и старогодные минимальные разрушающие усилия должны быть следующие: нагрузка, приложенная к головке рельса 1000 кН, нагрузка, приложенная к подошве рельса 900 кН. Результаты статических испытаний представлены в таблице.

Анализ результатов статических испытаний начинали с построения эпюр изгибающих моментов в соответствии с расчетной схемой однопролетной двухопорной балки. Рассчитывались реакции опор, максимальный момент в сечении и нормальные напряжения. Для цельного рельса при нагрузке, приложенной к головке рельса, максимальный момент составил 240 кН, при нагрузке, приложенной к подошве рельса – 220 кН.

В результате испытаний максимальные разрушающие усилия получены при зазоре в стыке 20 мм. Следовательно, зазор 20 мм является оптимальным. Соответственно месту приложения нагрузки, значения максимальных моментов для этого случая составили 225 кН·м и 195 кН·м.

Таблица 1 - Результаты статических испытаний на изгиб

№ п/п	Зазор, мм	Место приложения нагрузки	Нагрузка, кН	Максимальный момент, кН·м	Напряжения изгиба, МПа
1	Без сварки	головка	960	240	670,4
		подошва	880	220	505,7
2	10	головка	750	187,5	526,7
		подошва	680	170	400
3	20	головка	900	225	628,5
		подошва	780	195	448
4	30	головка	800	200	558,7
		подошва	680	170	400

Согласно данным, приведенным в [12], значения осевых моментов сопротивления для сечения рельса при приложении нагрузки к головке рельса $W_x = 358 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3$; к подошве рельса – $w'_x = 435 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3$, соответственно. Тогда для зазора 20 мм максимальные напряжения составляют 630 МПа и 450 МПа. Распределение напряжений по сечению рельса представлены на рис. 3.

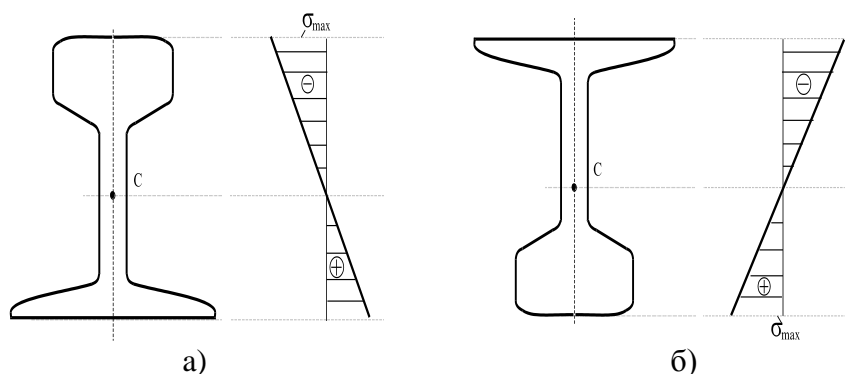


Рисунок 3 – Распределение напряжений по сечению рельса при зазоре в стыке 20 мм:

- а) нагрузка приложена к головке рельса;
- б) нагрузка приложена к подошве рельса

При втором варианте нагружения, когда сила прикладывалась к подошве рельса, наибольшие напряжения (в головке рельса) оказываются растягивающими. При этом разрушающее усилие оказывалось на 10÷20 % меньше, чем в первом варианте нагружения, когда наибольшие напряжения в головке – сжимающие. При зазоре 10 мм возможно возникновение различных дефектов, связанных с недостаточным проплавлением основного металла. При зазоре в 30 мм необходимо наплавить большее количество металла, что увеличивает время пребывания при опасных температурах зоны термического влияния. Сопоставляя полученные данные с результатами испытаний на статический изгиб цельного рельса, установлено, что нагрузка, выдерживаемая сварными стыками с зазором 20 мм, отличается незначительно. Увеличение сопротивления при статическом изгибе и, тем самым, обеспечение равнопрочности сварного соединения возможно за счет подбора сварочных материалов и параметров режима сварки.

Таким образом, управляя размерами (толщиной) мягкой прослойки, а также ее уровнем легирования, можно значительно повысить ресурс рельсовых путей и снизить эксплуатационные расходы на их прокладку и ремонт.

Исходя из проведенного анализа сварочных материалов [2], было предложено исследовать свойства двух сварочных материалов (сварочной проволоки Св08Х3Г2СМ и сварочной проволоки Св08Х18Н10Т) и сравнить их со свойствами ранее применявшейся проволоки Св08Г2С. Замеры микротвердости зоны термического влияния и сварного шва были проведены прибором ПМТ-3 с нагрузкой 50 г. Установлено, что наименьшую микротвердость в сварном шве имеют образцы, сваренные с использованием проволоки Св08Г2С и аустенитной проволоки Св08Х18Н10Т (1500 МПа). Кроме того, во втором случае по линии сплавления наблюдался резкий скачок микротвердости до 3600 МПа.

В сварном шве, сваренном проволокой Св08Х3Г2СМ, микротвердость наиболее близка к показателю основного металла. При наплавке рабочей поверхности сварного стыка в головке рельса применялась износостойкая наплавочная проволока Нп-50ХФА. Металл, наплавленный проволокой Нп50ХФА, имеет твердость 3600 МПа, что практически не отличается от твердости закаленной части головки рельса. Указанные материалы предложены для сварки подошвы и стойки рельса и наплавки рабочего слоя рельсового стыка, соответственно.

ВЫВОДЫ

1. Проведенные исследования показали, что при выбранном режиме сварки и зазоре в стыке 20 мм получена максимальная разрушающая нагрузка, сравнимая с разрушающей нагрузкой цельного рельса. Также установлено, что при приложении нагрузки на головку рельса величина разрушающего усилия выше, чем при приложении нагрузки на подошву рельса.

2. Результаты замеров микротвердости показали, что использование сварочной проволоки Св08Х3Г2СМ для сварки стыка и наплавочной проволоки Нп50ХФА для упрочнения головки рельса обеспечивает получение сварного шва со свойствами близкими к основному металлу.

Список использованных источников:

1. Технические условия на укладку и содержание бесстыкового пути. – М.: Транспорт, 2000. – 97 с.
2. Сергиенко, Ю. В. Разработка технологии многопроходной сварки стыков рельсов в полевых условиях: дис ... канд. техн. наук: 05.03.06 / Сергиенко Юрий Викторович. – Мариуполь, 1998. – 285 с.
3. Ерофеев, В. П. Расчетное определение показателя напряженного состояния в сварных соединениях с мягкими участками в стыковом шве / В. П. Ерофеев, М. В. Шахматов, П. Е. Бажанов // Сварочное производство. – 1979. – № 7. – С. 1–3.
4. Шрон, Р. З. О прочности при растяжении сварных соединений с мягкой прослойкой в условиях ползучести / Р. З. Шрон // Сварочное производство. – 1970. – № 5. – С. 6–8.
5. Айметов, С. Ф. Прочность стыковых сварных соединений, ослабленных мягкой прослойкой, при действии изгибающей нагрузки / С. Ф. Айметов, Ф. Г. Айметов // Вестник ЮУрГУ. – 2015. – Т. 15, № 1. – С. 107–112. – (Серия: Металлургия)

Машинобудування і зварювальне виробництво

6. Колесар, И. А. Напряженно-деформированное состояние при силовом и температурном нагружении узлов из разнородных сталей с мягкой прослойкой / И. А. Колесар, Г. В. Ермолаев // Автоматическая сварка. – 2014. – № 8. – С. 23–27.
7. Толмачева, Н. В. Условия равнопрочности мягкой прослойки в сварном соединении термически упрочненного проката различной толщины / Н. В. Толмачева, Л. П. Кулешова // Сварочное производство. – 1973. – № 9. – С. 6–8.
8. Козут, Н. С. Несущая способность сварных соединений / Н. С. Козут, М. В. Шахматов, В. В. Ерофеев. – Львов : Свит, 1991. – 184 с.
9. Дильман, В. Л. Напряженное состояние и статическая прочность пластичной прослойки при плоской деформации / В. Л. Дильман, А. А. Остсемин // Проблемы машиностроения и надежности машин. – 2005. – № 4. – С. 38–48.
10. Методика оценки эксплуатационной стойкости железнодорожных рельсов по статическим данным об их единичном изъятии из пути на железных дорогах. – М. : Транспорт, 1970. – 56 с.
11. Исследования рельсов тяжелых типов / под ред. В. И. Данилова. – М. Трансжелдориздат, 1958. – 335 с.
12. Скаков, А. И. Качество железнодорожных рельсов / А. И. Скаков. – М. : Металлургиздат, 1955. – 368 с.

Сергієнко Ю. В., Іванов В. П.

ДОСЛІДЖЕННЯ МІЦНОСТІ ЗВАРНИХ РЕЙКОВИХ СТИКОВОГО З'ЄДНАННЯ З М'ЯКИМ ПРОШАРКОМ ПРИ СТАТИЧНОМУ ВИГІНІ

Запропоновано методику та проведено випробування на статичний вигин зварних рейкових стиків. Досліджено вплив варіанти і ширини м'якої прошарку на напружено-деформований стан зварного з'єднання. Встановлено оптимальні параметри розмірів стику. Здійснено вибір зварювальних матеріалів, що забезпечують умови равнопрочності шва. У зварних з'єднаннях, з певним вибором електродного матеріалу, відбувається складне напруження під час згинання, що може суттєво вплинути на механічні властивості зварювальних і зварювальних зон. Характерною особливістю таких швів є наявність твердої частини у верхній частині суглоба, яка осідає матеріалом підвищеної твердості для забезпечення необхідної контактної витривалості поверхні. Метою даної роботи було вивчення геометричних та міцних параметрів м'якого проміжного шару, що забезпечувало одержання однаково міцних привальних з'єднаних залізничних з'єднань у статичному згині. Статичні випробування зварних залізничних швів були виконані з зазором між краями, що з'єднувалися $10 \div 30$ мм з кроком 10 мм, а також без зварного з'єднання. Статичне навантаження було нанесено на ділянку зварного з'єднання, розташованого посередині прольоту. Випробування проводилися з двома варіантами навантаження: сила наноситься на головку рейки та на підшви рейки. Аналіз результатів статичних випробувань розпочався з побудови діаграми моментів згину відповідно до схеми проектування однопроменевого двостороннього променя. Обчислено реакцію опор, максимальний момент у секції та нормальний напруга. Проведені дослідження показали, що з вибраним режимом зварювання та цілиною в шарнірному суглобі 20 мм отримано максимальне розривне навантаження, яке можна порівняти з розривним навантаженням твердої рейки. Було також виявлено, що коли навантаження наноситься на головку залізниці, величина сили розриву вище, ніж при навантаженні на рельсове підшви. Вибрано зварювальні матеріали, щоб забезпечити умови для рівної міцності шва. Результати вимірювань мікрочастотності показали, що використання запропонованих зварювальних матеріалів для затвердіння

голівки рейки забезпечує зварене з'єднання з властивостями, близькими до властивостей твердої рейки.

Ключові слова: зварювання рейок, стикові з'єднання, механічна неоднорідність, м'яка прошарок, вигин, міцність, контактна зміцнення.

Sergienko Yu. V., Ivanov V. P.

RESEARCH OF STRENGTH OF WELDED RAIL BUTTING JOINTS WITH SOFT LAYER IN STATIC BEND

In welded joints, with a certain choice of electrode material, a complex stress occurs during bending, which can have a significant effect on the mechanical properties of the weld and the weld zone. A characteristic feature of such seams is the presence of a solid portion in the upper part of the joint, which is deposited with a material of increased hardness to provide the necessary contact endurance of the surface. The purpose of this work was to study the geometric and strength parameters of a soft interlayer that ensure the obtaining of equally strong butt welded rail connections in a static bend. Static tests of welded rail joints were carried out with a gap between the edges to be joined 10 ÷ 30 mm in 10 mm increments, and also without a welded joint. The static load was applied in the area of the welded joint located in the middle of the span. The tests were carried out with two loading options: the force is applied to the rail head and to the sole of the rail. The analysis of the results of static tests began with the construction of bending moment diagrams in accordance with the design scheme of a single-span two-sided beam. The reactions of the supports, the maximum moment in the section and the normal stresses were calculated. The conducted researches showed that with the chosen welding mode and gap in the joint of 20 mm, the maximum breaking load was obtained, comparable with the breaking load of the solid rail. It has also been found that when the load is applied to the railhead, the magnitude of the breaking force is higher than when the load is applied to the rail sole. A selection of welding materials has been carried out to ensure the conditions for an equal strength of the seam. The results of microhardness measurements showed that the use of the proposed welding materials for hardening the rail head provides a welded joint with properties close to the properties of a solid rail.

Keywords: rail welding, butt joints, mechanical inhomogeneity, soft layer, bending, strength, contact hardening.

Рецензент: д-р техн. наук, проф. В.Н. Матвиєнко

Стаття надійшла 19.10.2018 р.

УДК 621.867.2

Суглобов В. В., Лаврик В. П., Ткачук К. В., Карбань В. А.

ЦЕНТРУЮЧИЙ ПРИСТРІЙ СТРІЧКОВОГО КОНВЕЄРУ

Запропоновано конструкцію центруючого пристрою стрічкового конвеєра, яка відрізняється спрощеною технологією виготовлення центруючого барабану та забезпечує надійне центрування стрічки під час роботи конвеєру

Ключові слова: стрічковий конвеєр, центруючий пристрій

Постановка проблеми. Стрічкові конвеєри відносяться до найбільш розповсюджених машин безперервної дії у всіх галузях виробництва. Вони є невід'ємною частиною технологічного процесу і визначають його темп та ритмічність.

Як свідчить досвід проектування та експлуатації стрічкових конвеєрів, одним з негативних факторів є незадовільне центрування стрічки відносно осі конвеєру, що приводить до зміщення стрічки з осі, взаємодію бокових ділянок стрічки з металоконструкціями конвеєру, пошкодження стрічки.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Широке застосування набули конструкції центруючих барабанів стрічкових конвеєрів [1], які мають випуклу форму поверхні дотикання з стрічкою, створену горизонтальною та нахиленими торцевими ділянками. Встановлено [2], що така форма поверхні не забезпечує надійне центрування конвеєрної стрічки вздовж осі конвеєру, а також приводить к підвищенню натягнення у центральній частині стрічки до 40 % від номінального значення.

Відома також конструкція центруючого барабану стрічкового конвеєру, робоча поверхня якого утворена спряженими між собою горизонтальною та торцевими ділянками, які мають форму кривої другого порядку [3]. Недоліком відомої конструкції є складність виготовлення барабану та утворення продольного перегину стрічки під час роботи конвеєра у місцях з'єднання горизонтальної та торцевих криволінійних ділянок барабану, що приводить до підвищення вартості обладнання та зменшення довговічності стрічки.

Постановка завдання. В основу пропонованої розробки покладена задача створення центруючого пристрою стрічкового конвеєру, який більш технологічний у виготовленні та забезпечує надійне центрування стрічки при її зміщеннях з осі конвеєру,

Основний матеріал дослідження. Для вирішення поставленої задачі центруючий барабан встановлено на поворотній у горизонтальній площині рамі, з якою зв'язаний виконавчий механізм (гідроциліндр) слідкуючої системи, а горизонтальну вісь обертання центруючого барабану зміщено відносно вертикальної осі повороту рами у напрямку руху стрічки.

Суть розробки роз'яснюється кресленнями: рисунок 1 - загальний вигляд центруючого пристрою стрічкового конвеєру, рисунок 2 - схема до розрахунків параметрів зміщення стрічки.

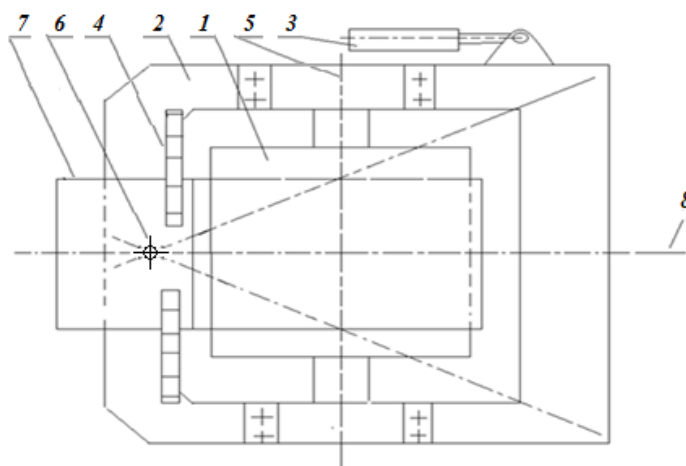


Рисунок 1 – Загальний вигляд центруючого пристрою

Характерною властивістю запропонованого пристрою є використання найбільш технологічної при виготовленні циліндричної форми центруючого барабану, а також створення сумісно направлених регулюючих зміщень стрічки за рахунок її «переносу» центруючим барабаном і поперечного зміщення стрічки по барабану за рахунок «перекоосу»

центруючого барабану та створення при цьому поперечної складової швидкості руху стрічки.

До складу центруючого пристрою стрічкового конвеєру входить (рис. 1) центруючий барабан 1, розміщений на поворотній у горизонтальній площині рамі 2, з якою зв'язано виконавчий механізм 3 (гідроциліндр) слідкуючої системи, при цьому горизонтальна вісь 4 обертання барабану 1 зміщено відносно вертикальної осі 5 повороту рами 2 у напрямку руху стрічки 6.

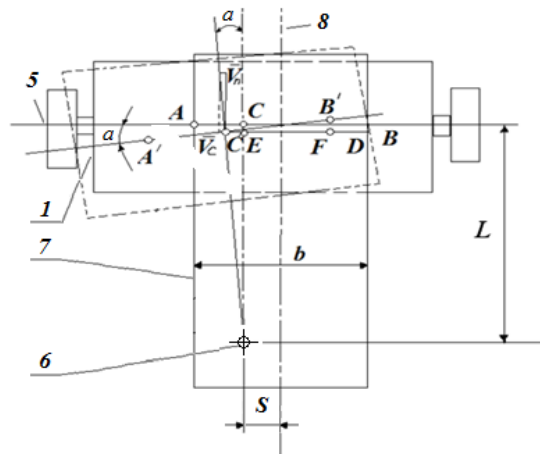


Рисунок 2 – Схема до розрахунку параметрів зміщення стрічки

Робота центруючого пристрою стрічкового конвеєру здійснюється наступним чином. Зміщення стрічки з осі 7 конвеєру на відстань s під дією децентруючих факторів фіксується слідкуючою системою і відповідний імпульс формується та подається до виконуючого механізму 3. При цьому здійснюється поворот рами 2 з центруючим барабаном 1 відносно вертикальної осі 5 повороту рами у сторону протилежну первинному зміщенню стрічки на кут α_1 і «перенос» стрічки на відстань Δ_1 у бік від подовжньої осі 7 конвеєру. При повороті рами 2 кутовий перекид барабану 1 на цей же кут α_1 приводить до появи поперечної складової швидкості v_n руху стрічки 6, яка забезпечує додаткове переміщення стрічки 6 на відстань Δ_2 у той же бік від подовжньої осі 7 конвеєру. Виконуючий механізм 3, який входить до складу слідкуючої системи, повинен забезпечити поворот рами 2 з центруючим барабаном 1 в сторону, протилежну первинному зміщенню стрічки s , доки не буде виконано умову $\Delta_1 + \Delta_2 = s$, або, іншими словами, доки подовжня вісь стрічки не поєднається з подовжньою віссю 7 конвеєра. Кутовий перекид рами 2 з центруючим барабаном 1 при цьому буде дорівнювати

$$\alpha_1 = \omega \cdot t_1 \quad ,$$

де ω - кутова швидкість повороту рами;

t_1 - час роботи виконуючого механізму до реверсу.

Після досягнення рамою 2 з центруючим барабаном 1 кутового перекиду α_1 від слідкуючої системи поступає сигнал на реверс виконуючого механізму і рама 2 з центруючим барабаном 1 виконує поворот у протилежному напрямку, доки горизонтальна вісь 4 обертання барабану 1 не стане перпендикулярною осі 7 конвеєра. При цьому досягнутий кут перекиду центруючого барабану 1 буде зменшений від α_1 до нуля, а за час повертання, який також буде дорівнювати t_1 , буде продовжувати діяти поперечна складова швидкості переміщення стрічки

Машинобудування і зварювальне виробництво

$$V_n = V_c \cdot \operatorname{tg} \alpha ,$$

де V_c - поступальна швидкість стрічки.

За час повернення рами 2 з барабаном 1 у початкове положення поперечна складова швидкості V_n забезпечить додаткове переміщення стрічки у бік осі 7 конвеєру на відстань Δ_2 , а поперечне переміщення, обумовлене «переносом» стрічки стане рівним нулю.

Таким чином, для забезпечення мінімального часу роботи виконуючого механізму при центрування стрічки необхідно виконувати умову $\Delta_1 = \Delta_2$.

З рис. 2 слідує

$$\Delta_1 = \left(\frac{b}{2} + s \right) (1 - \cos \alpha) + L \sin \alpha , \quad (1)$$

де b - ширина стрічки ;

S - первинне зміщення стрічки з подовжньої осі конвеєру;

L - відстань від вертикальної поворотної осі рами до горизонтальної осі обертання барабану.

Поперечна складова швидкості стрічки V_n

$$V_n = V_c \cdot \operatorname{tg} \alpha ,$$

де V_c - швидкість руху конвеєрної стрічки.

За час витрачений для повороту рами на кут α поперечне зміщення стрічки завдяки поперечній складовій швидкості її руху складе

$$\Delta_2 = \int_0^{t_1} V_n \cdot dt = \int_0^{t_1} V_c \cdot \operatorname{tg} (\omega t) dt , \quad (2)$$

де ω – кутова швидкість повороту рами.

Рішення певного інтегралу дає

$$\Delta_2 = -\frac{V_n}{\omega} \ln |\cos(\omega t)|. \quad (3)$$

З умови мінімізації часу роботи виконавчого механізму $\Delta_1 = \Delta_2 = S/2$, знаходимо час τ , необхідний для повернення зміщеної стрічки на ось конвеєру , враховуючи , що $\tau = 2 \cdot t_1$.

З рівняння (1) маємо

$$s/2 = L \cdot \sin \alpha + \left(S + \frac{b}{2} \right) - \left(S + \frac{b}{2} \right) \cdot \cos \alpha . \quad (4)$$

Враховуючи , що

$$L \cdot \sin(\omega t) - \left(S + \frac{b}{2} \right) \cdot \cos(\omega t) = \sqrt{L^2 + \left(S + \frac{b}{2} \right)^2} \cdot \sin(\omega t - \varphi) , \quad (5)$$

де $\varphi = \operatorname{arctg} \left(\frac{2S+b}{2L} \right)$,

одержуємо

$$\sqrt{L^2 + \left(S + \frac{b}{2} \right)^2} \cdot \sin(\omega t - \varphi) = - \left(b + \frac{s}{2} \right) .$$

Звідси, з урахуванням, що $\tau = 2t_1$

$$\tau = \frac{2}{\omega} \left[\operatorname{arctg} \frac{2S+b}{2L} - \operatorname{arcsin} \frac{b+s}{\sqrt{4L^2+(2s+b)^2}} \right]. \quad (6)$$

Із виразу (6) слідує, що значення τ залежить як від швидкості виконуючого механізму так і від геометричних параметрів b, s, L .

Враховуючи, що $\omega = \text{const}$, ширина стрічки у процесі центрування не змінюється, зміщення s є випадковим фактором, маємо, що час повернення стрічки на ось конвеєру залежить від відстані L . Оптимальне значення цієї відстані згідно (4) буде

$$L = \frac{s}{2\sin\alpha} - \left(s + \frac{b}{2} \right) \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}, \quad (7)$$

де $\alpha = \omega t = \left| \operatorname{arccos} \left(e^{-\frac{s\omega}{2V_n}} \right) \right|$ знайдено із виразу (3)

Виготовлення центруючого барабану і поворотної рами проводиться за існуючими традиційними технологіями.

ВИСНОВКИ

Запропоновано центруючий пристрій стрічкового конвеєру, який відрізняється спрощеною конструкцією і технологією виготовлення центруючого барабану та забезпечує надійне центрування стрічки під час роботи конвеєру

Перелік використаних джерел:

1. Подъемно-транспортные машины: атлас конструкций / под ред. М. П. Александрова, Д. Н. Решетова. – М.: Машиностроение, 1973. – 256 с.
2. Щеглов, О. М. Об одной из причин сбегания с барабана ленты ленточного конвейера / О. М. Щеглов, П. А. Гринько // Захист металургійних машин від поломок: міжвуз. темат. зб. наук. пр. / ПДТУ. – Маріуполь, 2003. – Вип. 7. – С. 107–109.
3. Пат. 45062 Україна, МПК В 65 G 15/00. Барабан стрічкового конвеєра / Щеглов О. М., Суглобов В. В., Гринько П. А. – № u200904862. – заявл. 18.05.2009; опубл. 26.10.2009, Бюл. № 20. – 4 с.

Суглобов В. В., Лаврик В. П., Ткачук Е. В., Карабань В. А.

ЦЕНТРИРУЮЩЕЕ УСТРОЙСТВО ЛЕНТОЧНОГО КОНВЕЙЕРА

Ленточные конвейеры относятся к наиболее распространенным машинам непрерывного действия во всех отраслях промышленного производства, являясь неотъемлемой частью технологического процесса, и определяя его темп и ритмичность.

Анализ практики проектирования и эксплуатации таких конвейеров свидетельствует, что одним из распространенных негативных факторов при работе конвейера является неудовлетворительное центрирование ленты относительно оси конвейера.

Это приводит к смещениям транспортной ленты с оси конвейера с последующим взаимодействием боковых участков ленты с металлическими конструкциями конвейера, вызывающим повреждение ленты и ее отбраковку.

Машинобудування і зварювальне виробництво

Задачей предлагаемой разработки является создание центрирующего устройства ленточного конвейера, которое более технологично в изготовлении по сравнению с известными конструкциями и обеспечит надежное центрирование транспортной ленты при ее смещениях с оси конвейера.

Предложена конструкция центрирующего устройства ленточного конвейера, отличительной особенностью которой является упрощение технологии изготовления центрирующего барабана и обеспечение надежного центрирования ленты во время работы конвейера. Это достигается за счет обеспечения совмещения двух принципов центрирования: переноса полосы при повороте центрирующего барабана и смещения полосы за счет создания поперечной составляющей скорости движения транспортной ленты.

Кинематический анализ работы предложенной конструкции центрирующего устройства показал, что минимизация времени работы исполнительного механизма возможна путем оптимизации конструктивных параметров устройства, в частности расстояния от вертикальной поворотной оси рамы до оси вращения центрирующего барабана. Предложены математические зависимости для определения оптимального значения данного параметра.

Ключевые слова: ленточный конвейер, центрирующее устройство

Suglobov V. V., Lavrik V. P., Tkachuk E. V., Karaban V. A.

CENTRING DEVICE OF BAND CONVEYER

Band conveyer behave to the most widespread machines of continuous action in all of industries of industrial production, being inalienable part of technological process and determining his rate and rhythm.

The analysis of practice of planning and exploitation of such conveyers testifies that one of widespread negative factors during work of conveyer there is the unsatisfactory centring of ribbon in relation to the ax of conveyer.

It results in displacements of conveyer ribbon from the ax of conveyer with the subsequent co-operating of lateral areas of ribbon with the metallic constructions of conveyer, causing the damages of ribbon and its burning out.

The task of the offered development is creation of centring device of band conveyer, which more technologically in making as compared to the known constructions, and will provide the reliable centring of conveyer ribbon at its displacements from the ax of conveyer.

The construction of centring device of band conveyer is offered, the distinctive feature of which is simplification of technology of making of centring drum and providing of the reliable centring of ribbon during work of conveyer.

It is arrived at due to providing of combination of two principles of centring: bar at the turn of centring drum and displacement of bar for the set of creation of transversal making rate of movement of conveyer ribbon.

The kinematics analysis of work of the offered construction of centring device rotined that minimization of burn-time executive mechanism is possible by optimization of parameters of device, in particular distance from the vertical turning ax of frame to the ax of rotation of centring drum. Mathematical dependences are offered for determination of optimum value of this parameter

Keyword: band conveyer, device for centring

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Іщенко А. О.

Стаття надійшла 30.08.2018 р.

УДК 621.791.052:620.18

Христенко О. А.

СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ РЕЗЬБОНАРЕЗАНИЯ И ПОВЕРХНОСТНОГО НАНОСТРУКТУРИРОВАНИЯ ИНСТРУМЕНТА

Разработан научно-методологический комплекс управления наноструктурированием резьбонарезного стального и твердосплавного инструмента с плазменным модифицированием, который позволяет выбирать оптимальные технологические процессы плазменного модифицирования резьбонарезного инструмента в зависимости от типа и состава инструментального материала и сочетания операций объемной и поверхностной обработки.

Ключевые слова: наноструктурирование, плазма, модифицирование, резьбонарезание, инструмента, методология.

Анализ результатов исследований структуры и свойств модифицированного резьбонарезного инструмента из быстрорежущих сталей и твердых сплавов [1, 2] показывает, что поверхностное модифицирование такого инструмента при нагреве его режущих кромок высококонцентрированной плазменной струей является весьма эффективным методом значительного повышения работоспособности. Однако, процесс упрочнения именно резьбонарезного инструмента имеет ряд специфических особенностей по сравнению с упрочнением инструмента других типов, детально рассмотренных в работах [3, 4]:

1. Наличие «острых» кромок, «зубчатых» поверхностей, что приводит к значительному увеличению скорости охлаждения прилегающих к ним объемов металла модифицированной зоны и, как следствие, возможности реализовать процесс наноструктурирования без оплавления поверхности.

2. Переменная степень дисперсности структуры и твердость металла модифицированной зоны и, как следствие, переменная стойкость модифицированного инструмента после переточек [1].

3. Специфические условия эксплуатации резьбонарезного инструмента [2].

Указанные особенности плазменного модифицирования резьбонарезного инструмента значительно усложняют разработку оптимальных технологических процессов для их реализации. Данная задача может быть решена лишь на основе комплексного подхода, объединяющего принципы формирования структуры модифицированного слоя и его адаптации к конкретной технологии резьбонарезания.

С использованием рекомендаций [5-7] применительно к плазменному модифицированию стального и твердосплавного резьбонарезного инструмента разработана структурная схема научно-методологического комплекса управления наноструктурированием (рис. 1).

Для оптимизации новейших технологий поверхностного упрочнения материалов в последнее время все шире используются положения структурной теории прочности и закономерности дислокационной теории [6-7]. Согласно структурной теории прочности основной механизм упрочнения реальных металлов связан с созданием препятствий или барьеров на пути движущихся дислокаций. Этими барьерами могут быть примесные атомы,

Машинобудування і зварювальне виробництво

дислокації, границі зерен і субзерен, избыточные дисперсные фазы, микронапряжения и др.

Как правило, в технических металлах и сплавах реализуются одновременно несколько упрочняющих механизмов, и тогда общий уровень упрочнения, характеризующийся приростом предела текучести материала $\Delta\sigma_T$ в сравнении с идеальным бездефектным металлом, определяется как сумма вкладов действующих механизмов:

$$\Delta\sigma_T = \sum_{i=1}^n \Delta\sigma_i \quad (1)$$

где $\Delta\sigma_i$ прирост предела текучести за счет i -го структурного параметра.

Для инструментальных сталей и сплавов аналогом прочности σ_T можно считать твердость [3].



Рисунок 1 – Структурная схема научно-методологического комплекса

В таблице 1 приведены механизмы упрочнения, реализуемые при плазменном модифицировании стального и твердосплавного резбонарезного инструмента (по данным металлографического и рентгеноструктурного анализов) [1, 2].

Таблица 1 – Упрочняющие механизмы и определяющие их структурные параметры при плазменном модифицировании резбонарезного инструмента

Инструментальный материал	Вариант модифицирования	Упрочняющие механизмы	Расчетные зависимости*	Контролируемые структурные параметры
Сталь Р6М5	А-объемная термообработка + плазменное модифицирование	1.Твердорастворный σ_p 2.Дислокационный σ_d 3.Субструктурный σ_c	$\sigma_p = \sum K_i \cdot C^i$; $\sigma_d = \alpha \cdot M_o \cdot G \cdot b$; ; $\sigma_c = \frac{K_c}{d_c^m}$;	1.Концентрация легирующего элемента (C_i); 2.Плотность дислокаций (ρ); 3.Размер блоков (D);
	А-объемная термообработка + плазменное модифицирование + объемный отпуск	1.Дислокационный σ_d 2.Дисперсионный σ_ϕ	$\sigma_d = \alpha \cdot M_o \cdot G \cdot b$; ; $\sigma_\phi = 0,84 \cdot M_o \cdot \frac{G}{2\pi}$;	1.Плотность дислокаций (ρ); 2.Расстояние между частицами вторичных карбидов (λ);
Сплавы типа ВК	Без оплавления с превращением в карбидах и связке	В связке: 1.Твердорастворный σ_p 2.Дисперсионный σ_ϕ В композиции: 3.Зернограничный σ_3	$\sigma_p = \sum K_i \cdot C^i$; $\sigma_3 = K_y \cdot d^{-1/2}$ $\sigma_\phi = 0,84 \cdot M_o \cdot \frac{G}{2\pi}$;	1.Концентрация легирующего элемента (C_i); 2.Расстояние между карбидами (λ); 3.Средний размер карбидов (d);
Сплавы типа ТК	Без оплавления с превращением в карбидах и связке	В связке: 1.Твердорастворный σ_p В композиции: σ_3 3.Зернограничный	$\sigma_p = \sum K_i \cdot C^i$; $\sigma_3 = K_y \cdot d^{-1/2}$;	1.Концентрация легирующего элемента (C_i); 2.Средний размер карбидов (d);

* Обозначения: σ_p , σ_d , σ_c , σ_ϕ , σ_3 - компоненты увеличения прочности σ_T от действия механизмов упрочнения – соответственно: твердорастворного, дислокационного, субструктурного, дисперсионного, зернограничного; K_i – коэффициент упрочнения α -Fe i -м легирующим элементом; C_i – концентрация i -го элемента в α -Fe; G - модуль сдвига; b - постоянная Бюргерса (0,25 нм); α и M_o – коэффициенты (для α -железа: $\alpha \cdot M_o = 0,5$); ρ - плотность дислокаций; K_y – постоянная металла (для сталей $K_y = 20$ Н/мм^{3/2}); d – диаметр зерна; K_c , m – коэффициенты (для сталей $m = 0,5 \dots 1$; при $m = 1$ - $K_c = 0,13$ Н/мм); d_c – размер субзерна; K_g - коэффициент определяющий тип дислокаций; λ – расстояние между частицами упрочняющей фазы.

Разработанный методологический подход позволяет выбирать оптимальные технологические процессы плазменного модифицирования резбонарезного инструмента в зависимости от типа и состава инструментального материала и сочетания операций объемной и поверхностной обработки. При этом, как показано в работах [6-7], наибольший эффект упрочнения может быть достигнут при реализации максимально возможного числа упрочняющих механизмов в едином технологическом процессе.

Для практической реализации процесса плазменного модифицирования инструмента используется плазменный технологический комплекс [3], схема которого показана на рис. 2. Комплекс включает в себя шесть относительно самостоятельных блоков, каждый из которых позволяет задавать определенные регулируемые параметры режима плазменной обработки.

В зависимости от технического исполнения или технологических особенностей обработки в технологическом комплексе может быть задействован либо блок перемещения плазматрона (Va – рис. 2), либо блок перемещения инструмента (Vб – рис. 2). В обоих случаях регулируемым параметром режима является скорость обработки.

Перечень и обозначение всех регулируемых параметров режима плазменного модифицирования инструмента с использованием специально разработанного плазматрона [8] сведены в таблице 2.

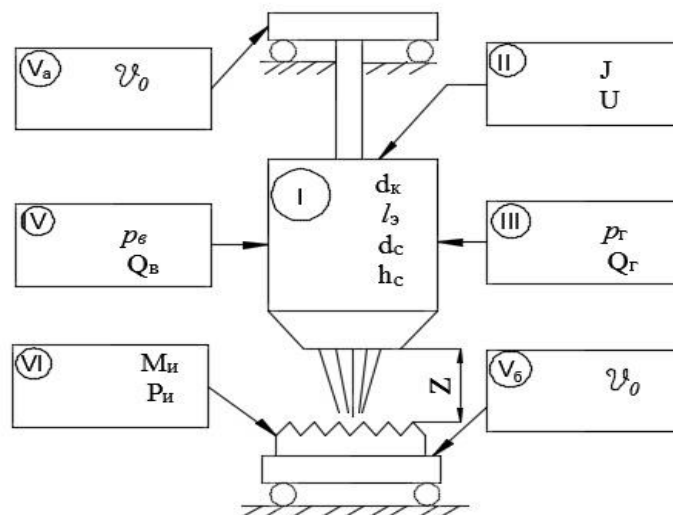


Рисунок 2 – Схема плазменного технологического комплекса: I – плазматрон; II – блок энергоснабжения; III – блок подачи плазмообразующего газа; IV – блок охлаждения плазматрона; Va – блок перемещения плазматрона; Vб – блок перемещения инструмента; VI – обрабатываемый инструмент; Z – дистанция обработки

Кроме того, самостоятельным регулируемым параметром, не связанным ни с одним из блоков, является дистанция обработки – расстояние от среза сопла до обрабатываемой поверхности.

При разработке интегрированных технологий поверхностного модифицирования, встраиваемых в действующие технологические процессы изготовления инструмента, задача оптимизации приведенных в табл. 2 параметров может быть решена только в случае системного подхода и рассмотрения процесса плазменной обработки как технологической системы. В свою очередь наиболее высокие стойкостные показатели модифицированного инструмента и экономические показатели новой технологии могут быть достигнуты только

на основе комплексного совместного анализа процесса плазменной обработки и условий резания модифицированным инструментом.

Таблица 2 - Регулируемые параметры режима плазменного модифицирования металлорежущего инструмента

Блок	Параметр режима	Обозначения
I. Плазматрон	Диаметр внутреннего дугового канала	d_k
	Межэлектродное расстояние	$l_э$
	Диаметр отверстия сопла	d_c
	Высота отверстия сопла	h_c
II. Энергопитание плазменной струи	Сила тока плазменной струи	J
	Напряжение плазменной струи	U
III. Подача плазмообразующего газа	Давление газа	p_r
	Расход газа	Q_r
IV. Охлаждение плазматрона	Давление охлаждающей воды	p_v
	Расход охлаждающей воды	Q_v
V. Перемещение плазматрона (инструмента)	Скорость обработки	V_0
VI. Обработываемый инструмент	Марка инструментального материала	$M_{и}$
	Размеры обрабатываемой поверхности	$P_{и}$
-	Дистанция обработки	Z

Учитывая многообразие условий эксплуатации резбонарезного инструмента и возможных технологических вариантов плазменной обработки (по аналогии с лазерной), для реализации такого подхода целесообразно рассматривать процесс резбонарезания инструментом с модифицированным слоем как единую технологическую систему. Структурная схема такой технологической системы приведена на рис. 3.



Рисунок 3 – Структурная схема технологической системы «Технологический процесс резбонарезания инструментом, прошедшим плазменное модифицирование»

Машинобудування і зварювальне виробництво

В технологическую систему Т в качестве составляющих входят две подсистемы – технологическая операция плазменного модифицирования (М) и технологическая операция резбонарезания (Р). Структурные схемы указанных подсистем, составленных с учетом известных рекомендаций [9, 10], опыта создания таких систем для лазерной [9] и плазменной [1] обработки, приведены на рис. 4.

Входными параметрами в подсистеме М (рис. 4, а) являются регулируемые параметры плазменного технологического комплекса (табл. 2), а выходными параметрами - твердость и толщина модифицированного слоя, а также его теплостойкость (для инструмента из быстрорежущих сталей).

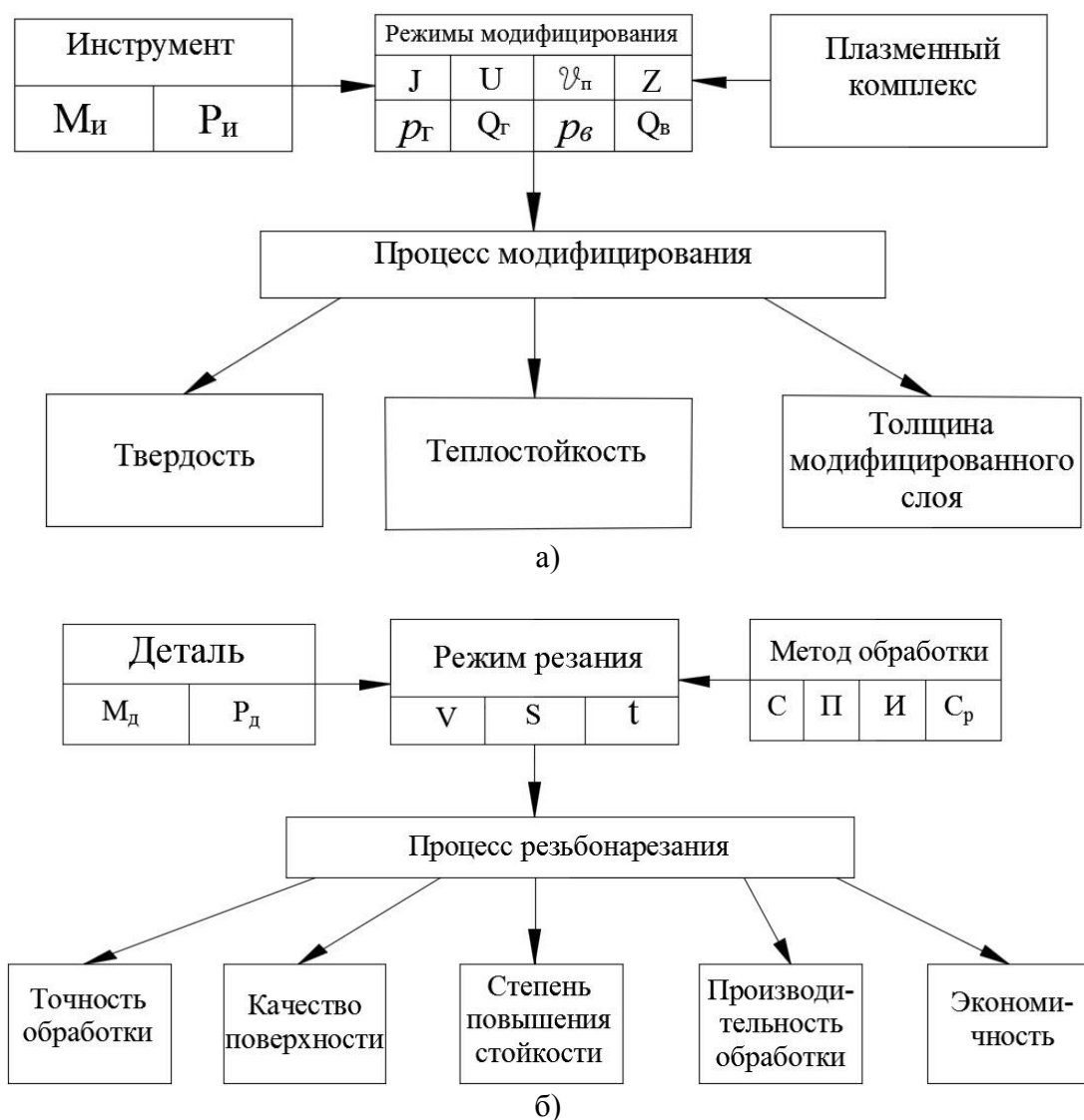


Рисунок 4 – Структурные схемы технологических подсистем:
а – плазменного модифицирования (М); б – резбонарезания (Р)

Входными параметрами в подсистеме Р (рис. 4, б) являются параметры обрабатываемой детали (марка материала $M_{д}$, размер $P_{д}$), параметры режима резания (скорость резания V , подача S и толщина срезаемого слоя t) и параметры, связанные с методом обработки и применяемым оборудованием («станок – приспособление – инструмент – среда»). Кроме того, входными параметрами в подсистеме Р являются также выходные

Машинобудування і зварювальне виробництво

параметры подсистемы М (рис. 3). Выходными параметрами подсистемы Р являются технико-экономические показатели, характеризующие процесс резьбонарезания инструментом, прошедшим плазменное модифицирование (рис. 4, б). Эти же параметры являются и выходными параметрами системы Т. Другую группу выходных параметров системы Т (рис. 3) представляют технико-экономические показатели комплексной технологии (модифицирование инструмента + резьбонарезание), позволяющие выполнять оценку эффективности использования данного метода упрочнения в сравнении с другими, например, лазерной обработки в сравнении с плазменной, плазменной обработки в сравнении с нанесением покрытий и т.п.

Изложенные выше принципы системного подхода при оптимизации комплексной технологии (модифицирование инструмента + резьбонарезание) позволяют, в зависимости от поставленной задачи, выбирать оптимальные параметры плазменной обработки для конкретного типа резьбонарезного инструмента и конкретных условий резьбонарезания или, с другой стороны, выбирать оптимальные параметры процесса резьбонарезания (например, режим резания) для конкретного типа инструмента после плазменного модифицирования.

ВЫВОДЫ

1. Для повышения эффективности процессов резьбонарезания инструментом, прошедшим плазменное модифицирование, использован комплексный подход на основе рассмотрения единой технологической системы, в которую в качестве взаимосвязанных составляющих входят подсистемы «Плазменное модифицирование» и «Резьбонарезание»

2. Разработанные принципы системного подхода позволяют в зависимости от поставленной задачи, выбирать оптимальные параметры плазменной обработки для конкретного типа резьбонарезного инструмента и конкретных условий резьбонарезания или выбирать оптимальные параметры процесса резьбонарезания (например, режим резания) для конкретного типа инструмента после плазменного модифицирования.

Список использованных источников:

1. *Самотугин, С. С.* Структура и свойства модифицированной зоны при плазменной обработке резьбонарезных резцов с пластинами из твердых сплавов / *С. С. Самотугин, О. А. Христенко, В. И. Иванов* // Вісник Приазов. держ. техн. ун-ту : зб. наук. праць / ДВНЗ «ПДТУ». – Маріуполь, 2018. – Вип. 36. – С. 128–134. – (Серія : Технічні науки)
2. *Самотугин, С. С.* Плазменное модифицирование резьбонарезного инструмента / *С. С. Самотугин, О. А. Христенко* // Вісник Приазов. держ. техн. ун-ту : зб. наук. праць / ДВНЗ «ПДТУ». – Маріуполь, 2017. – Вип. 34. – С. 105–112. – (Серія : Технічні науки)
3. *Самотугин, С. С.* Плазменное упрочнение инструментальных материалов / *С. С. Самотугин, Л. К. Лещинский*. – Донецк : Новый мир, 2003. – 338 с.
4. *Самотугин, С. С.* Плазменное модифицирование твердосплавного инструмента : монография / *С. С. Самотугин, Е. В. Кудинова*. – Мариуполь: ПГТУ, 2017. – 154 с.
5. *Грановский, Г. И.* Резание металлов / *Г. И. Грановский, В. Г. Грановский*. – М. : Высша школа, 1985. – 304 с.
6. *Петрова, Л. Г.* Прогнозирование уровня упрочнения металлов и сплавов на основе методологии управления структурообразованием / *Л. Г. Петрова, О. В. Чудина* // Упрочняющие технологии и покрытия. – 2007. – № 7. – С. 3–11.
7. *Петрова, Л. Г.* Разработка технологий поверхностного упрочнения деталей машин и инструмента на основе научно-методологического комплекса инженерии

Машинобудування і зварювальне виробництво

поверхности металлических материалов / Л. Г. Петрова // Упрочняющие технологии и покрытия. – 2010. – № 12. – С. 28–39.

8. Вивденко, Ю. Н. Технологические системы производства деталей наукоемкой техники / Ю. Н. Вивденко. – М. : Машиностроение, 2006. – 559 с.

9. Яресько, С. И. Физико-технологические особенности процесса резания инструментом, упрочненным лазерным излучением / С. И. Яресько, Ю. Н. Нерубай // Металлообработка. – 2000. – № 1. – С. 41–47.

10. Резание металлов / Е. Н. Трембач [и др.]. – Старый Оскол : ТНТ, 2005. – 512 с.

Христенко О. А.

КОМПЛЕКСНИЙ СИСТЕМНИЙ АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ РІЗЬБОНАРИЗАННЯ І ПОВЕРХНЕВОГО НАНОСТРУКТУРУВАННЯ ІНСТРУМЕНТУ

Розроблено науково-методологічний комплекс управління наноструктурування різьбонарізного сталевого і твердосплавного інструменту з плазмовим модифікуванням, який дозволяє вибирати оптимальні технологічні процеси плазмового модифікування різьбонарізного інструменту в залежності від типу і складу інструментального матеріалу і поєднання операцій об'ємної і поверхневої обробки. Специфічні особливості нарізного інструменту (гостра кромка) значно ускладнюють розробку оптимальних технологічних процесів плазмового модифікування. Дане завдання може бути вирішено лише на основі комплексного підходу, що поєднує принципи формування структури модифікованого шару і його адаптації до конкретної технології різьбонарізання. З огляду на різноманіття умов експлуатації різьбонарізного інструменту і можливих технологічних варіантів плазмової обробки (по аналогії з лазерної), для реалізації такого підходу доцільно розглядати процес різьбонарізання інструментом з модифікованим шаром як єдину технологічну систему. Для підвищення ефективності процесів різьбонарізання інструментом, які пройшли полум'яне модифікування, використано комплексний підхід на основі розгляду єдиної технологічної системи, в яку в якості взаємопов'язаних складових входять підсистеми «Плазмове модифікування» і «Різьбонарізання». У свою чергу найбільш високі стійкісні показники модифікованого інструменту і економічні показники нової технології можуть бути досягнуті тільки на основі комплексного спільного аналізу процесу плазмової обробки і умов різання модифікованим інструментом. При розробці інтегрованих технологій поверхневого модифікування, вбудованих в діючі технологічні процеси виготовлення інструменту, завдання оптимізації параметрів може бути вирішена тільки в разі системного підходу і розгляду процесу плазмової обробки як технологічної системи.

Ключові слова: наноструктурування, плазма, модифікування, різьбонарізання, інструменту, методологія.

Khrystenko O. A.

COMPLEX SYSTEM ANALYSIS OF TECHNOLOGICAL PROCESSES OF CARRYING CUT AND SURFACE NANOSTRUCTURING OF THE TOOL

The scientific-methodological complex of nano-structure control of a thread-cutting steel and carbide tool with plasma modification is developed that allows to choose the optimal technological processes of plasma-modification of a thread-cutting tool depending on the type and composition of the instrumental material and the combination of operations of bulk and surface treatment. Specific features of a threaded tool (sharp edge) greatly complicate the development of

optimal technological processes of plasma modification. This task can be solved only on the basis of an integrated approach, which combines the principles of formation of the structure of the modified layer and its adaptation to the specific technology of carving. Given the variety of conditions of operation of the thread-cutting tool and possible technological options for plasma processing (in analogy to the laser), to implement such an approach it is advisable to consider the process of cutting the instrument with a modified layer as a single technological system. In order to increase the efficiency of the thread cutting processes by means of the fiery modification, a comprehensive approach is used based on consideration of a unified technological system, in which interconnected components include the subsystem «Plasma modification» and «Rip cutting». In turn, the highest stability indicators of the modified instrument and the economic indicators of the new technology can be achieved only on the basis of an integrated joint analysis of the plasma processing process and the conditions of cutting by a modified tool. In the development of integrated surface modification technologies embedded in the existing technological processes of manufacturing the tool, the task of optimizing the parameters can be solved only in the case of a systematic approach and consideration of the process of plasma processing as a technological system.

Keywords: nanostructuring, plasma, modifying, threading, tool, methodology.

Рецензент: д-р техн. наук, проф. В. В. Суглобов

Статья поступила 22.10.2018

УДК 621.791.75

Захарова И. В., Роянов В. А., Душенин С. С.

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИХ ВКЛЮЧЕНИЙ И МИКРОСТРУКТУРЫ НА КАЧЕСТВО СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ СТАЛИ ТРУБНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

В статье содержится описание, классификация и параметры оценки загрязненности неметаллических включений, и был проведен анализ влияния НВ на механические свойства стали и качество сварных соединений.

Для анализа был использован электронный сканирующий микроскоп JSM-63090LV, а также дифрактометр рентгеновского типа ДРОН-2.

Выявлены структурные причины возникновения неметаллических включений, и последствия влияния НВ на качество сварных швов.

Ключевые слова: магистральный трубопровод, неметаллические включения, загрязненность, анализ, состав, охлаждение, скорость, структура.

Анализ последних исследований и публикаций: Сборка и монтаж конструкций осуществляется, как правило, сваркой. Известно, что наиболее уязвимым участком являются сами сварные соединения, а также околошовная зона и ЗТВ, наличие дефектов в которых приводит к серьезным последствиям в процессе эксплуатации, а в частности, к разрушению конструкции.

Разрушение сварных соединений может происходить по различным причинам, остаточные напряжения, непровары, подрезы, неметаллические включения (НВ), которые могут являться одной из причин падения твердости. Наряду с теоретическими обоснованиями причин падения твердости проводились практические исследования кинетики структурных и фазовых превращений в зоне термического влияния трубных

сталей в процесі неперервного охолодження в відповідності со зварочним термічним циклом.

НВ впливають на усталостні властивості сталей, вони стають джерелом зародження мікротріщин – коли відбувається руйнування самого включення, руйнування по межі розділу між включенням і металом, або всередині руйнується саме багатофазне включення.

Для виготовлення магістральних трубопроводів необхідна масова, дешева високопрочна сталь, що може бути досягнуто застосуванням простої системи легування в поєднанні з мінімальним, але достаточним кількістю дефіцитних легуючих елементів (мікролегування). Одним з умов зменшення вартості сталі – застосування при її виробництві раціонального способу раскислення і неперервної розливки. Одночасно з цим зменшується кількість неметалічних включень, покращується їх склад і форма.

В даний час в заводських умовах виготовлені трубні сталі, які мають необхідні механічні властивості, відповідають сучасним вимогам і призначені для виготовлення труб. Труби зварюються з сталевих листів, тому дуже важливо визначити показники зварюваності запропонованих сталей. В першу чергу це стосується структурних змін в зоні термічного впливу, які в значній мірі визначають властивості зварного з'єднання в цілому.

Причини появи тріщин від неметалічних включень – це суттєва різниця в характеристиках пластичності і термоупругості металу шва і включення.

Фактори, які визначають чи буде це включення джерелом появи тріщини, – це його параметри (хімічний склад, розмір, форма, густина розподілу і положення відносно поверхні).

На появу крихкого руйнування впливають як великі включення, так і скоплення малих. Неметалічні включення збільшують різницю властивостей, що особливо сказується на пластичності – відносне подовження і звуження, і впливають на характеристики усталостної міцності сталі. НВ можуть служити причиною не тільки руйнування, але також можуть сприяти високій швидкості корозії сталі.

Ціль роботи: Ціллю роботи було аналізувати вплив кінетики структурних змін і появи неметалічних включень в металі зварних з'єднань з низьколегованої трубної сталі на стійкість до руйнування. В роботі представлено термічний аналіз металу низьколегованої трубної сталі X70, який є аналогом вітчизняних сталей 13Г1СУ, 09Г2ФБ, що застосовуються для виготовлення трубопроводів в промисловості.

Актуальність роботи: Актуальним питанням в трубопроводному транспорті є забезпечення надійності і безпеки, а також зменшення ризику появи аварійних ситуацій.

В зв'язі з цим вивчення кінетики структурних перетворень і причин виникнення неметалічних включень, їх властивостей, природи утворення, складу, є актуальним.

Дана проблема актуальна, т.к. за літературними даними до 1.5% відмов МТ відбувається через неметалічні включення (НВ), як джерело зародження тріщин, а також через недостатню проработку проектною і виконавчою документацією і ряду факторів.

Постановка проблеми: магістральні трубопроводи частіше за все піддаються циклічному навантаженню, причиною якого є зміна внутрішнього тиску транспортуваного продукту, вплив погодних умов. Неметалічні включення

сварных соединений, которые в первую очередь являются концентраторами напряжений и обладают повышенной твердостью и хрупкостью могут стать источниками зарождения усталостных трещин, что в последствии приведет к частичным разрушениям трубопроводов.

Таким образом, повышение работоспособности сварных соединений низколегированных трубных сталей для обеспечения эксплуатационной безопасности МТ является задачей актуальной и своевременной.

Основной материал исследования: Для исследований использованы низколегированные, трубные стали, применяемые при производстве магистральных трубопроводов, имеющие нормативные документы: 17Г1С-У с гарантированным пределом текучести не более 360 МПа, класс прочности до К54, сталь X70 с гарантированным пределом текучести свыше 360 МПа, класс прочности К60 [1-4].

Отечественные стали 13Г1СУ, 10Г2ФБ, 09Г2ФБ находятся в одном и том же классе прочности (Х65) и имеют одинаковые значения эквивалента углерода – 0,41 %, а у австрийской при более высоком классе прочности (Х70), эквивалент углерода (C_3) несколько ниже – 0,39 % (таблица 1). Известно, что углеродный эквивалент является одним из косвенных показателей оценки сталей к образованию трещин в около шовной зоне при сварке, т.е. является одним из косвенных показателей её свариваемости [4-6].

Таблица 1 – Химический состав стали X70

Эл-т	C	Mn	S	Si	Al	P	Mo	Ni	Cu	V	Nb	Ti	Cr	Ni
Доля %	0.07	1.60	0.02	0.33	0.032	0.014	0.30	-	0.03	0.05	0.05	0.02	0.03	0.02

Считается, что стали, с $C_3 \leq 0,45$ %, считаются несклонными к образованию холодных трещин при сварке. Однако в тех же работах [4-6] отмечается, что при одном и том же значении C_3 твердость в около шовной зоне может отличаться на большую величину - порядка HV 150.

Кроме того, по данным [4-6], при частичной закалке взаимосвязь твердости и C_3 зависит от скорости охлаждения при субкритических температурах. Чем меньше скорость охлаждения, тем больше относительное влияние легирующих элементов на упрочнение, и каждой скорости охлаждения должны соответствовать свои коэффициенты при легирующих элементах (в формуле для расчета C_3).

Неметаллические включения (НВ) - инородные образования в жидких и твердых металлах и сплавах - химические соединения металлов с неметаллами; - неметаллическая частица, попавшая в металл механическим путем или образовавшаяся вследствие химического взаимодействия компонентов при расплавлении и заливке металла.

Неметаллические включения возникают в результате целого ряда физико-химических явлений, протекающих в расплавленном и затвердевающем металле в процессе его производства – отливки и кристаллизации [7-9].

Несмотря на то, что все существующие технологические усовершенствования по производству стали и изделий из нее направлены на максимальное снижение концентрации НВ, их доля остается весьма значительной, например, кремнеземистых включений содержится около 10^8 в 1 см^3 .

Загрязненность готовой металлопродукции НВ регламентируют стандарты, устанавливающие ограничение по концентрации серы и кислорода в металле и максимально допустимый размера включений, согласно этим стандартам качество металлопродукции оценивают по системе баллов.

В большинстве случаев неметаллические включения образуются в условиях метастабильного равновесия, о чем свидетельствует разнообразие типов присутствующих в стали включений и морфологии включений сходного состава [6-8].

Это приводит к нарушению термодинамического равновесия как между отдельными включениями, так и между включениями и металлической матрицей.

К тому же при понижении температуры изменяются термодинамическая устойчивость включений и состав жидкой стали по мере развития кристаллизации, что нарушает равновесие системы включение - жидкий раствор. Поэтому возможно изменение состава включений, находящихся в жидкой стали, и их расплавление благодаря развитию диффузионных процессов через межфазные границы.

В процессе охлаждения закристаллизовавшегося стального слитка также возможен диффузионный обмен атомами через межфазные границы включение — матрица и внутри включения в результате существующих градиентов концентрации атомов элементов, входящих в состав включений и матрицы. Таким образом, в процессе кристаллизации и охлаждения слитка может происходить непрерывное изменение состава неметаллических включений [9].

В реальных условиях сталь охлаждается с такой скоростью, что многие фазы включений сохраняются до комнатной температуры в метастабильном состоянии. Если стальной слиток подвергается термической обработке, то фазовые и структурные изменения во включениях являются неизбежными, образуются новые фазы, и в результате включения переходят в более стабильное состояние.

Для определения влияния условий охлаждения (скорости охлаждения) на структуру в ОШЗ новых трубных сталей построены термокинетические диаграммы. Диаграммы построены по данным, полученным с помощью быстродействующего дилатометра конструкции ИЭС с индукционным датчиком и записью дилатометрической кривой в координатах температура – удлинение с помощью двухкоординатного автоматического потенциометра Н 307 (Рисунок 1).

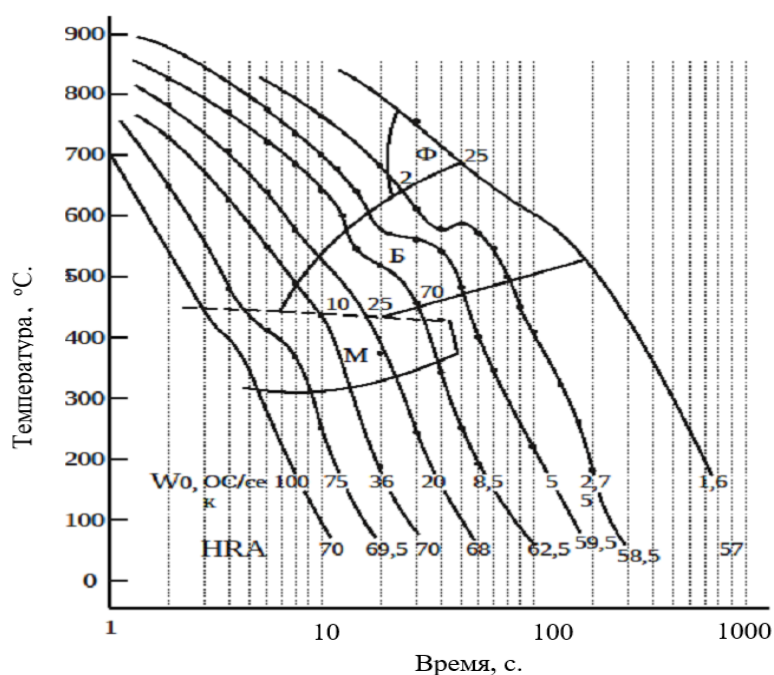


Рисунок 1– Термокинетическая диаграмма для стали X70 [5]

Машинобудування і зварювальне виробництво

В процессе охлаждения образцов в dilatометре, с помощью специального отметчика времени на кривой наносились отметки времени (рисунок 2 кривая, а) [10,14].

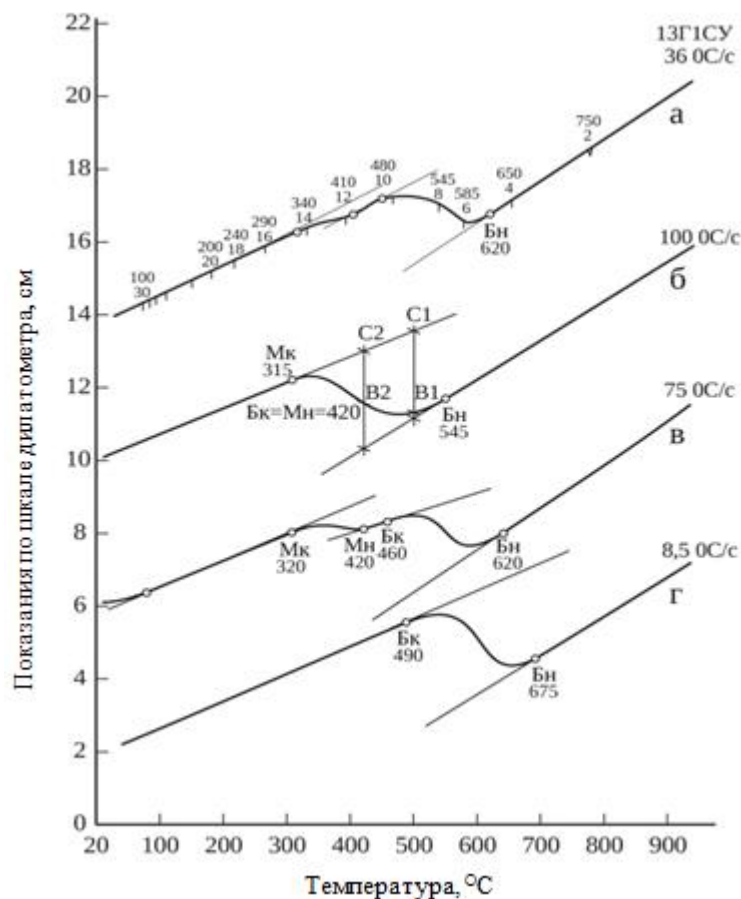


Рисунок 2 – Дилатометрические кривые образцов имитаторов стали 13Г1СУ при охлаждении со скоростями $^{\circ}\text{C}/\text{с}$: а-36 отметки времени через 2с, над ними – соответствующая им температура, $^{\circ}\text{C}$; б-100; в-75; г- 8,5 [2]

Это позволило построить кривую охлаждения каждого образца в координатах логарифм времени – температура. Серия таких кривых охлаждения, полученных при различных режимах охлаждения (и характеризующихся различными скоростями охлаждения) наносились на диаграмму в виде параметров. Затем на них отмечали температуры превращения, однородные точки соединяли и в результате получались области превращения (мартенситного, бейнитного, ферритного).

Кривые охлаждения наносили на диаграмму, начиная от температуры A_{c3} (согласно общепринятой методике), которая для исследованных сталей составляет 850 – 870 $^{\circ}\text{C}$ [10].

При изучении кинетики распада аустенита использован комплексный анализ дилатометрических кривых охлаждения и микроструктур образцов-имитаторов (Рис. 3).

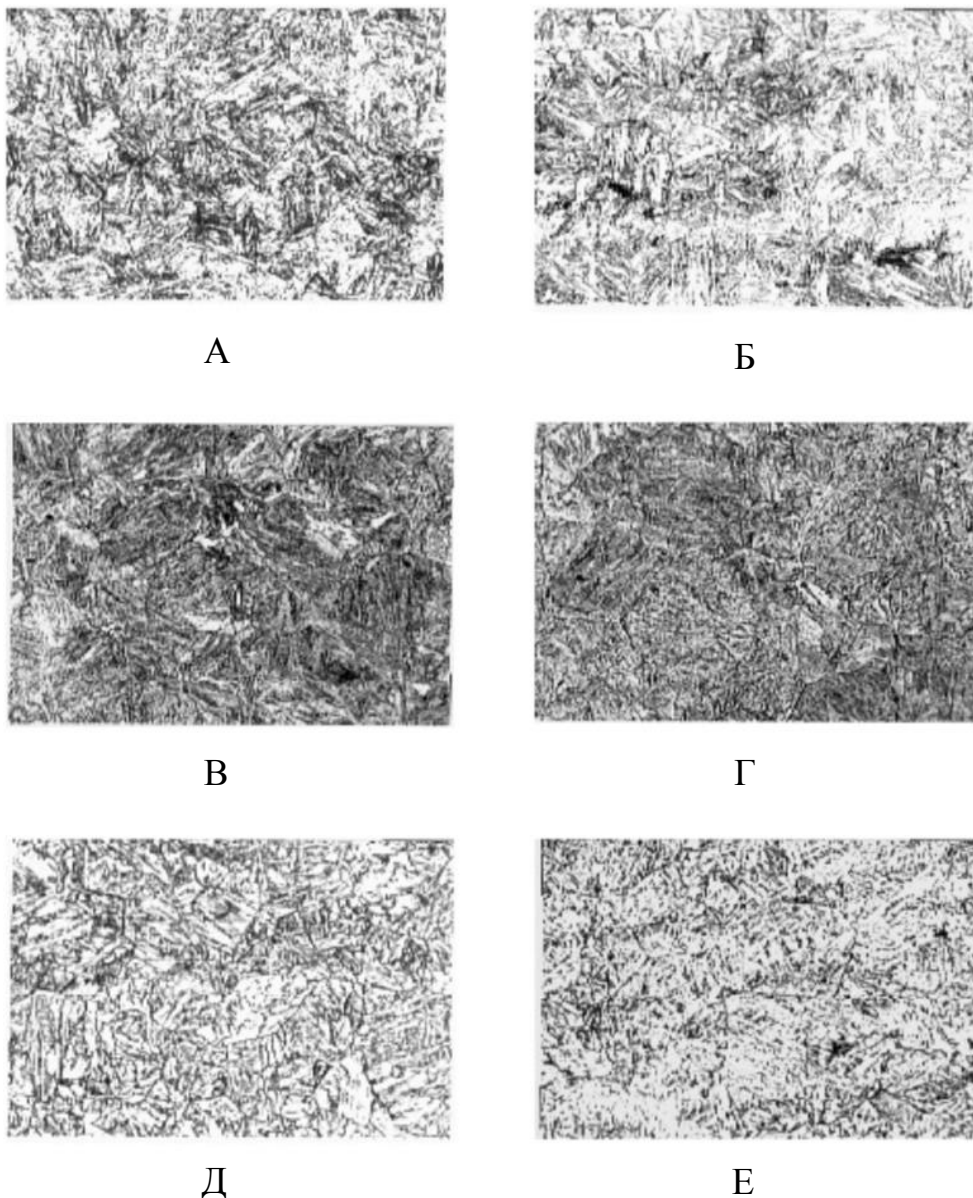


Рисунок 3 – Микроструктура образцов-имитаторов стали X70, охлаждавшихся со скоростями, 0С/с: А-100; Б-75; В-36; Г-20; Д-8,;5 Е-5 [8]

Температуру начала и конца превращения аустенита определяли по точке отхода касательной к кривой.

Количественный расчет соотношения продуктов превращения производился по дилатометрическим кривым методом отрезков [14].

Выявление микроструктуры образцов производили травлением в 4% растворе азотной кислоты в этиловом спирте, а изучение микроструктуры и съёмку на микроскопе Неофот-23, обычно при увеличении 320 крат.

В отдельных случаях, когда структура была мелкодисперсной и отдельные её элементы не разрешались при выбранном увеличении её исследовали при больших увеличениях, до 1000 крат. Так на рисунках видно различие в строении мартенсита и бейнита в образцах-имитаторах стали X 70 (Рис. 3)

Бейнит как и мартенсит имеет игольчатое строение, но выглядит более шероховатым вследствие выделения карбидных частиц.

С уменьшением скорости охлаждения дисперсность бейнита уменьшается, а его количество – увеличивается.

Феррито-перлитная структура основного металла исследуемых сталей имеет выраженную строчечность, совпадающую с направлением прокатки. Загрязнённость примесями в основном металле стали X70 по объемной доле НВ меньше, чем у стали 17Г1С-У.

В сталях преобладают включения оксидов и сульфидов Fe и Mn, которые полностью состоят из MnS.

По результатам исследований установлено, что химический состав, соотношение структурных составляющих, структурная и химическая неоднородность металла, механические и усталостные свойства и объемное распределение включений по сечению шва, изменяются в зависимости от технологий сварки, соответствующих сварочных материалов и режимов сварки [11-13].

Особенности распределения НВ по сечению шва, по результатам анализа выполненного для сталей X70 и 17Г1С-У по одной технологии, примерно идентична. Установлено реальное отличие распределения включений по сечению шва для сталей при разных технологиях. Наибольшая объемная доля НВ и их неритмичное распределение по сечению шва получено при сварке швов по технологии РД и РД+АФ.

Согласно рентгенофазовому анализу в сварных швах сталей 17Г1С-У и X70 присутствуют такие соединения, как FeS, Fe₂O₃, SiO₂, Al₂O₃, которые входят в состав более сложных компонентов, таких как сложный оксид FeO·Fe₂O₃, сложные сульфиды марганца, содержащие оксиды (FeO, MnO, SiO₂) и FeS, железомарганцевые силикаты, поверхность которых обогащена SiO₂; алюмосиликатная шпинель SiO₂-Al₂O₃.

Особое внимание следует обратить на распределение, форму и размеры неметаллических включений в корневом шве сварного соединения, т.к. данный шов является начальным и соответственно испытывает более жесткие условия под действием напряжений в процессе эксплуатации.

Изменение концентрации химических элементов в неметаллических включениях в разных областях сварного соединения говорит о появлении включений не только из-за перехода их из основного или электродного металла, но и в результате химических реакций, протекающих при сварке [16]. НВ в металле шва имеют часто сложный состав и структуру, потому как продукты реакций, протекающих в сварочной ванне (образование тугоплавких оксидов) выделяясь из раствора, взаимодействуют между собой – образуют растворы, химические соединения.

ВЫВОДЫ

- Неметаллические включения ухудшают качество металла, так как в процессе его эксплуатации могут служить очагами разрушения.
- Неметаллические включения возникают в результате целого ряда физико-химических явлений, протекающих в расплавленном и затвердевающем металле в процессе его производства.
- В жидкой стали неметаллические включений находятся в твердом или жидком состоянии в зависимости от их температуры плавления.
- Характер и размеры зависят от содержания кислорода, растворенного в металле, а также от скорости затвердевания. Чем меньше скорость затвердевания, тем большей величины образуются включения.

Список использованных источников:

1. Федосеева, Е. М. Повышение качества сварных соединений сталей трубного назначения для обеспечения эксплуатационной безопасности магистральных трубопроводов : дис. ... канд. техн. наук : 05.02.08 / Федосеева Елена Михайловна. – Пермь, 2011. – 140 с.
2. Игнатов, М. Н. Идентификация и изучение свойств неметаллических включений в сварных соединениях / М. Н. Игнатов, А. М. Игнатова, А. Е. Канина // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки. – 2013. – № 2 (26). – С. 140–148.
3. Бельченко, Г. И. Неметаллические включения и качество стали / Г. И. Бельченко, С. И. Губенко. – Киев : Техніка, 1980. – 168 с.
4. Игнатов, М. Н. Идентификация и изучение свойств неметаллических включений в сварных соединениях / М. Н. Игнатов, А. М. Игнатова, А. Е. Канина // Известия вузов. Поволжский регион. Технические науки. – 2013. – № 2 (26). – С. 140–148.
5. Федосеева Е. М. Анализ содержания неметаллических включений в сварных швах стали Х70 / Е. М. Федосеева, Н. В. Вылежнева, Т. В. Ольшанская // Перспективные процессы и технологии в машиностроительном производстве : тез. докл. междунар. науч.-техн. конф., посвящ. 50-летию механ.-технолог. фак. Перм. гос. техн. ун-та / Перм. гос. техн. ун-т. – Пермь, 2005. – С. 141–142.
6. Федосеева, Е. М. О роли неметаллических включений в эксплуатационной надежности сварных соединений магистральных трубопроводов / Е. М. Федосеева // Современные проблемы машиностроения : тр. V Междунар. науч.-техн. конф. / Томск. политехн. ун-т. – Томск, 2010. – С. 401–406.
7. Федосеева, Е. М. Влияние повторного термического цикла сварки на образование неметаллических включений в многослойных сварных швах трубных сталей / Е. М. Федосеева, М. Н. Игнатов, И. Ю. Лелягин // Сварка и диагностика. – 2011. – № 2. – С. 18–21.
8. Федосеева, Е. М. Исследование структуры и неметаллических включений металла шва соединений низколегированных трубных сталей / Е. М. Федосеева, В. М. Язовских, Т. В. Ольшанская // Вестник Пермского нац. исслед. политехн. ун-та. – 2006. – № 9. – С. 3–6. – (Серия : Механика и технология материалов и конструкций)
9. Федосеева, Е. М. Низколегированные трубные стали для нефти и газопроводов / Е. М. Федосеева, Т. В. Ольшанская, А. В. Корноушкин // Сварка. Контроль. Реновация - 2006 : сб. докл. 6 науч.-техн. конф. / Уфим. гос. авиационный техн. ун-т. – Уфа, 2007. – С. 83–85.
10. Роянов, В. А. Дефекты в сварных соединениях и покрытиях : учеб. пособие / В. А. Роянов, В. Я. Зусин, С. С. Самотугин. – Мариуполь : Изд-во ПГТУ, 2000. – 184 с.
11. Акритов, А. С. О скорости роста аустенитных зерен в ОШЗ при сварке / А. С. Акритов, М. Х. Шоршоров // Сварочное пр-во, 1992. -№2. С. 29-31.
12. Акритов, А. С. К вопросу кинетики роста аустенитных зерен в околошовной зоне (ОШЗ) при сварке / А. С. Акритов, В. В. Чигарев, М. Х. Шоршоров // Вестник Приаз. гос. техн. ун-та : сб. науч. тр. / ПГТУ. – Мариуполь, 1996. – Вып. 2. – С. 153–156.
13. Влияние термического цикла сварки на структуру и свойства металла ЗТВ сварных соединений из улучшенной стали 09Г2СБФ / А. С. Акритов [и др.] // Сварочное производство. – 1989. – № 11. – С. 8–10.
14. Структурные превращения в околошовной зоне при сварке трубной стали 13Г1СУ / И. В. Захарова [и др.] // Вісник Приаз. держ. техн. ун-ту : зб. наук. праць / ПДТУ. – Мариуполь, 2001. – Вип. 11. – С. 211–215.

15. Захарова, И. В. Математическое моделирование температурного поля и формы ванны жидкого металла в условиях сварки под флюсом / И. В. Захарова, Е. А. Чичкарев // Вісник Приаз. держ. техн. ун-ту : зб. наук. праць / ПДТУ. – Маріуполь, 2001. – Вип. 11. – С. 216–219.

Захарова І. В., Роянов В. О., Душенін С. С.

АНАЛІЗ ВПЛИВУ НЕМЕТАЛЕВИХ ВКЛЮЧЕНЬ І МІКРОСТРУКТУРИ НА ЯКІСТЬ ЗВАРНИХ З'ЄДНАНЬ СТАЛЕЙ ТРУБНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ (ОГЛЯД)

У статті міститься опис, класифікація і параметри оцінки забрудненості неметалічних включень, і був проведений аналіз впливу НВ на механічні властивості сталі і якість зварних з'єднань.

Неметалеві включення (НВ) - чужорідні освіти в рідких і твердих металах і сплавах - хімічні сполуки металів з неметалами; - неметалічна частинка, що потрапила в метал механічним шляхом або утворилася внаслідок хімічної взаємодії компонентів при розплавленні і заливці металу.

Забрудненість готової металопродукції НВ регламентують стандарти, які встановлюють обмеження по концентрації сірки і кисню в металі і максимально допустимий розмір включень, згідно з цими стандартами якість металопродукції оцінюють за системою балів.

Втомне руйнування сталі починається у мікротріщин, які можуть утворитися в результаті руйнування самого включення, відриву по внутрішньому кордоні в багатофазних включених або відриву по ділянці розділу між включенням і металевою матрицею.

Причини виникнення зародкових тріщин від неметалічних включень - це відмінність в термопружних характеристиках металевої матриці і включення.

Найбільш важливі фактори, що визначають, чи є включення критичним для зародження тріщини, - це його хімічний склад, розмір, форма, щільність розподілу і розташування відносно поверхні.

Неметалеві включення погіршують якість металу, так як в процесі його експлуатації можуть служити вогнищами руйнування. Неметалеві включення виникають в результаті цілого ряду фізико-хімічних явищ, що протікають в розплавленому і твердне металі в процесі його виробництва.

Для досліджень використані низьколеговані сталі трубного призначення, що застосовуються при виготовленні магістральних трубопроводів, регламентовані нормативними документами: 17Г1С-У з гарантованим межею плинності не більше 360 МПа, клас міцності до К54, сталь Х70 з гарантованим межею плинності понад 360 МПа, клас міцності К60.

Для аналізу був використаний Електронний скануючий мікроскоп JSM-63090LV, а також дифрактометр рентгенівського типу ДРОН-2.

Ключові слова: магістральний трубопровід, неметалеві включення, забрудненість, аналіз, склад, охолодження, швидкість, структура.

Zakharova I. V., Royanov V. A., Dushenin S. S.

ANALYSIS OF THE INFLUENCE OF NONMETALLIC INCLUSIONS AND MICROSTRUCTURES ON THE QUALITY OF WELDED JOINTS OF PIPE STEELS (REVIEW)

The article contains a description, classification and parameters for assessing contamination of nonmetallic inclusions, and an analysis of the effect of HB on the mechanical properties of steel and the quality of welded joints was carried out.

For the analysis we used the Electronic Scanning Microscope JSM-63090LV, as well as the X-ray diffractometer DRON-2.

Non-metal inclusions (NM) - foreign education in liquid and solid metals and alloys

- chemical compounds of metals with nonmetals;

- non-metallic particles that got into metal by mechanical means or formed as a result of the chemical interaction of the components during the melting and pouring of the metal.

The contamination of the finished metal products of NM regulates the standards that set limits on the concentration of sulfur and oxygen in the metal and the maximum allowable size of inclusions, according to these standards, the quality of metal products is evaluated according to the system of points.

The reasons for the occurrence of germinal cracks from nonmetallic inclusions is the difference in the thermoplastic characteristics of the metal matrix and the inclusion. The most important factors determining whether inclusion is critical for the origin of a crack is its chemical composition, size, shape, distribution density, and location relative to the surface. Non-metal inclusions worsen the quality of the metal, as during its operation can serve as the focal points of destruction. Non-metallic inclusions arise as a result of a number of physical-chemical phenomena occurring in the molten and solidified metal during the process of its production.

For researches, low-alloy steels of pipe-laying used in the manufacture of main pipelines are regulated by the normative documents: 17GIS-U with a guaranteed yield strength of not more than 360 MPa, a strength class to K54, X70 steel with a guaranteed yield strength of more than 360 MPa, strength class K60.

The structural causes of nonmetallic inclusions, and the effects of the influence of NM on the quality of welded joints, are revealed.

Key words: main pipeline, nonmetallic inclusions, contamination, analysis, composition, cooling, speed, structure.

Keywords: *influence of nonmetallic inclusions on weld quality, metal contamination, cooling rate, bainite, martensite, perlite.*

Рецензент: д-р техн. наук, проф. В. И. Щетинина

Статья поступила 07.11.2018 г.

УДК 621.791.037

Роянов В. А., Коросташевский П. В., Захарова И. В., Остапенко Б. Д.

КЛАССИФИКАЦИЯ, АНАЛИЗ ОСНОВНЫХ КОНСТРУКЦИЙ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ВЫБОРУ ФЛЮСОВЫХ ПОДУШЕК СТЕНДОВ АВТОМАТИЧЕСКОЙ СВАРКИ ПРЯМОЛИНЕЙНЫХ СТЫКОВЫХ СОЕДИНЕНИЙ ЛИСТОВЫХ ПОЛОТНИЩ

Разработана общая классификация флюсовых подушек для автоматической сварки под слоем флюса прямолинейных стыковых соединений листовых полотнищ в цистерностроении и котлостроении. Проанализированы конструкции основных типов флюсовых подушек применяемых для этих целей и основные моменты их использования в производстве. Рассмотрена и проанализирована работа диафрагменных прижимов флюсовых подушек совместно с пневмошланговыми механизмами, уточнены критерии выбора параметров пневмошланговых механизмов подъёма желобов с флюсом. Выработаны рекомендации по применению флюсовых подушек в стендах автоматической сварки прямолинейных стыковых соединений листовых полотнищ в производстве различных типов.

Ключевые слова: *флюсовая подушка, автоматическая сварка под слоем флюса, прямолинейное стыковое соединение, пневмошланговый механизм, диафрагменный прижим, поджим флюса.*

Постановка проблемы. Флюсовые подушки являются наиболее широко применяемым оборудованием для удержания сварочной ванны при автоматической сварке стыковых соединений листовых полотнищ различных изделий. Их широкое распространение в соответствующих стендах обусловлено способностью флюса под воздействием внешних сил плотно, без зазоров прилегать к поверхностям свариваемых листов, повторяя при этом все неровности, волнистость кромок, что не всегда удаётся устранить правкой. Плотное прилегание флюса к сварному стыку является одним из главных условий получения качественного сварного соединения. Особенно это важно при изготовлении листовых полотнищ котлов железнодорожных вагонов-цистерн и иных ёмкостей, работающих под давлением. Прямолинейные сварные стыковые соединения таких полотнищ имеют длину до 10-ти и более метров, что создает серьёзные трудности при обеспечении плотного поджима флюса к свариваемым листам. Поэтому исследование основных параметров линейных флюсовых подушек, их воздействия на оборудование стендов сварки и выработка практических рекомендаций по их применению в различных стендах автоматической сварки листовых полотнищ является важной практической задачей.

Анализ последних исследований и публикаций. Исследования устройства и результатов эксплуатации флюсовых подушек для сварки прямолинейных стыковых соединений показали их различную эффективность при работе в стендах сварки разнообразных конструкций. Обусловлено это прежде всего конструкцией подушек, а также количеством свариваемых на данном стенде швов и типом производства.

Флюсовые подушки для сварки прямолинейных швов можно разделить на стационарные и подвижные. Подвижные подушки подразделяют на подъёмные, передвижные и комбинированные (подъёмно-передвижные). В стационарной подушке желоб для флюса крепится неподвижно к раме стенда. В подъёмной подушке желоб снабжён установленным на раме стенда механическим или пневматическим механизмом его подъёма на заданную величину (с вертикальными направляющими). В передвижной подушке

Машинобудування і зварювальне виробництво

устройство снабжено механизмом перемещения (продольного или поперечного оси подушки) с горизонтальными направляющими, а в комбинированной желоб снабжен механизмами подъёма и перемещения в заданных направлениях с соответствующими направляющими. В каждой подушке желоб может иметь механизм поджима (подъёма) флюса диафрагменного, пневмошлангового или механического типа или может быть выполнен без него [1, 2, 3].

В работах [1 - 7] приведены конструкции, элементы и описание различных флюсовых подушек и их элементов, но не разработана общая классификация для такой важной группы устройств, как флюсовые подушки для автоматической сварки прямолинейных швов, что требует восполнения. В работах [1, 5] приведено подробное исследование пневмошланговых механизмов при их использовании для подъёма (вертикального прижима) различных устройств и их элементов. Представлены зависимости грузоподъёмности (развиваемых усилий) от их хода. Однако, в работе подъёмных флюсовых подушек с диафрагменным механизмом поджима флюса (подушек с двойным поджимом) присутствует дополнительный силовой фактор – усилия, возникающие в диафрагменном прижиме при поджиме диафрагмой горки флюса к сварному стыку. Этот фактор не учтён в публикациях. Его воздействие на работу пневмошланговых механизмов может препятствовать их нормальной работе, а выбор их шлангов при конструировании флюсовых подушек шлангов без учёта этого фактора может оказаться ошибочным.

Цель исследования. Целью исследования является разработка общей классификации, анализ основных параметров флюсовых подушек, уточнение критериев выбора пневмошланговых механизмов и выработка рекомендаций по выбору флюсовых подушек для стенов автоматической сварки прямолинейных стыковых соединений листовых полотнищ различных типов производств.

Основной материал исследования. На основании анализа существующих конструкций общую классификацию флюсовых подушек для автоматической сварки прямолинейных швов можно представить в виде схемы на рис. 1.



Рисунок 1 – Общая классификация флюсовых подушек для автоматической сварки прямолинейных швов

Из этого оборудования наибольшее применение в стендах автоматической сварки прямолинейных стыковых соединений листовых полотнищ в вагостроении и котлостроении получили четыре типа флюсовых подушек: стационарный без механизма поджима флюса, стационарный с диафрагменным механизмом поджима флюса, подъёмный без механизма поджима флюса и подъёмный с диафрагменным механизмом поджима флюса.

Простейшая стационарная флюсовая подушка - подушка без механизма поджима флюса (рис. 2 а) - представляет собой желоб (короб) в который с горкой засыпается флюс. Желоб жёстко крепится в раме стенда автоматической сварки. Полотнище укладывается на раму стенда сварным стыком на горку флюса на флюсовой подушке. Прижим стыка к флюсу осуществляется кроме собственного веса изделия при помощи дополнительных грузов (при необходимости), или прижимов сварочной установки (например, передвижного портала).

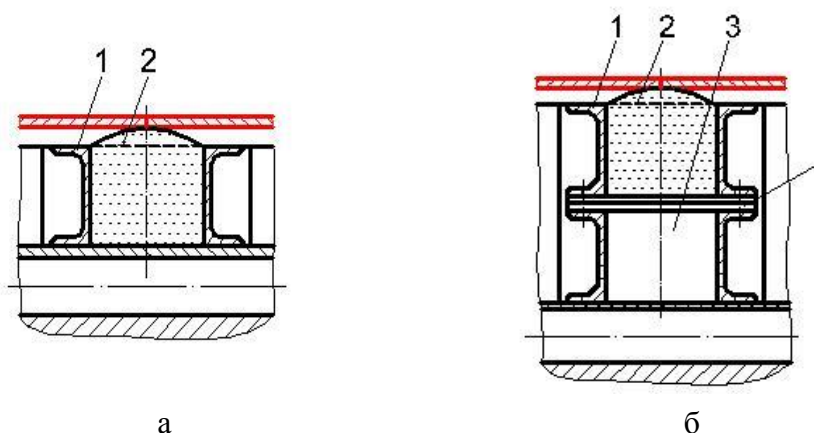


Рисунок 2 – Основные типы стационарных флюсовых подушек для сварки прямолинейных стыковых соединений листовых полотнищ:

а - стационарная без механизма поджима флюса; б – стационарная с диафрагменным механизмом поджима флюса:

1 – желоб для флюса; 2 – флюс; 3 – пневмокамера; 4 – блок диафрагмы

Стационарная флюсовая подушка с диафрагменным механизмом поджима флюса (рис. 2 б) представляет собой установленный на пневмокамере желоб, при этом разделяющая их диафрагма одновременно является дном желоба и потолочной частью пневмокамеры. Корпус пневмокамеры с желобом жёстко крепится в раме стенда автоматической сварки. Таких подушек в стенде может быть несколько в зависимости от количества свариваемых стыков и стабильности раскроя полотнищ. Полотнище укладывается на раму стенда сварными стыкам над горками флюса в желобах флюсовых подушек или устанавливается в этом положении транспортирующей системой стенда (линии). Прижим полотнища к раме стенда осуществляется его прижимными устройствами, после чего в пневмокамеру подается сжатый воздух, диафрагма изгибается и прижимает флюс к свариваемым кромкам полотнища [2].

Подъёмная флюсовая подушка без механизма поджима флюса (рис. 3 а) представляет собой установленный на специальном кожухе желоб, в который с горкой засыпается флюс. Кожух в крайнем нижнем положении опирается на кронштейны специальной, жестко установленной в раме стенда балке. Между кожухом и балкой расположены рукава пневмошлангового механизма его подъёма. Полотнище укладывается на раму стенда сварными стыкам над горками флюса флюсовых подушек или устанавливается в этом положении транспортирующей системой стенда (линии). Прижим полотнища к раме осуществляется прижимными устройствами стенда, после чего в рукава пневмошлангового

Машинобудування і зварювальне виробництво

механізму подається сжатый воздух, кожух с желобом с флюсом поднимается вверх прижимая горку флюса к свариваемым кромкам листов полотнища.

Подъёмная флюсовая подушка с диафрагменным механизмом поджима флюса (рис. 3 б) представляет собой комбинацию подушек 2-го и 3-го типов: на подъёмном (от пневмошлангового механизма) кожухе установлена флюсовая подушка с желобом для флюса, диафрагменным механизмом поджима флюса и пневмокамерой. При работе такой подушки вначале пневмошланговым механизмом кожух с желобом с флюсом поднимается вверх прижимая горку флюса к свариваемым кромкам листов полотнища, а затем диафрагменным прижимом флюс дополнительно поджимается к сварному стыку.

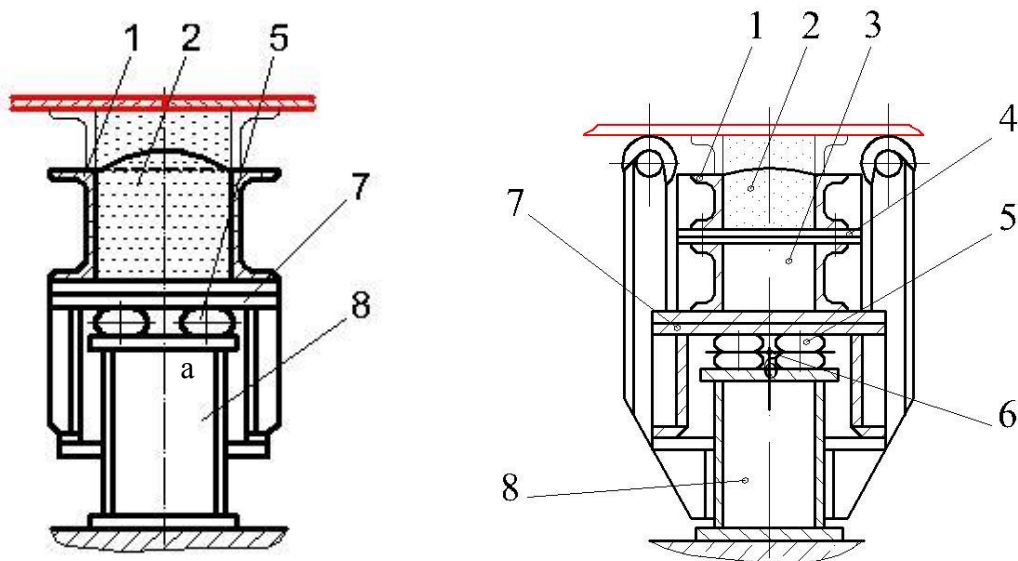


Рисунок 3 – Основные типы подъёмных флюсовых подушек для сварки прямолинейных стыковых соединений листовых полотнищ:

а – подъёмная без механизма поджима флюса;

б – подъёмная с диафрагменным механизмом поджима флюса:

1- желоб для флюса; 2 – флюс; 3 – пневмокамера; 4 – блок диафрагмы;

5 – рукав пневматический; 6 – разделитель; 7 – кожух; 8 – опорная балка станда

Описанные стационарные флюсовые подушки, а также подъёмная подушка без механизма поджима флюса применяются, в основном, в стандах, в которых производится сварка одного стыкового соединения. В таких стандах, как правило, отсутствует специальное оборудование для горизонтального перемещения полотнищ, например, в стандах сварки плоских заготовок днищ котлов цистерн (изделия устанавливаются в станде и удаляются из него грузоподъёмными устройствами). В этом случае доступ к флюсу для его подготовки (очистке, созданию горки) имеется после сварки каждого шва и удаления сваренного изделия. Подъёмная флюсовая подушка с диафрагменным механизмом поджима флюса или подушка с двойным поджимом, а в отдельных случаях и подъёмная подушка без механизма поджима флюса применяются при автоматической сварке листовых полотнищ из нескольких листов на стандах сварки полотнищ в составе поточно-механизированных линий. Эти подушки позволяют применять в таких стандах для линейного перемещения полотнищ стационарное роликовое поле взамен подъёмного, что значительно упрощает конструкцию транспортной системы линий. Компактный пневмошланговый механизм подъёма желоба с флюсом и диафрагменным прижимом позволяет опускать подушку при перемещении полотнища по стационарному роликовому полю для сварки на этом рабочем месте

Машинобудування і зварювальне виробництво

следующего стыка. Это предотвращает срез (недопустимое смятие) вершины горки флюса и обеспечивает качественную сварку следующего стыка при подъёме желоба и включении диафрагменного прижима.

В универсальных стандах сварки листовых полотнищ, в которых необходимо изменять расположение сварочных автоматов и флюсовых подушек в зависимости от ширины листов в полотнищах для осуществления одновременной автоматической сварки нескольких стыков, рекомендуется использовать комбинированные (подъёмно-передвижные) флюсовые подушки с диафрагменным механизмом поджима флюса в комплексе с неподъёмным раздвижным роликовым полем (рис. 4).

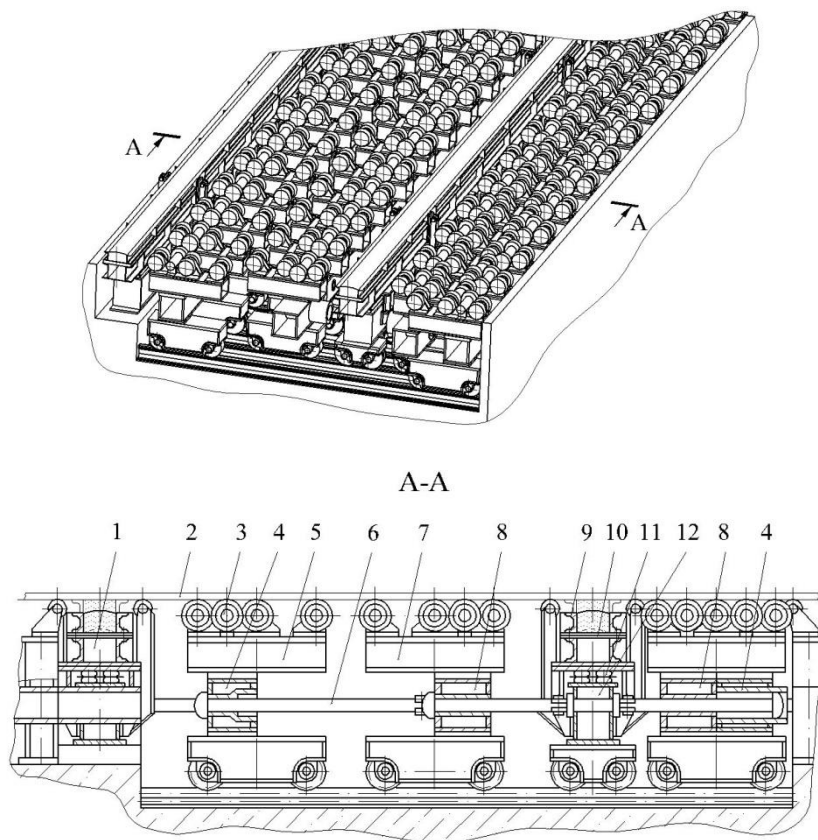
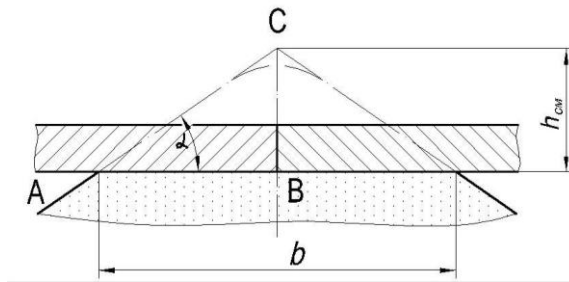


Рисунок 4 – Стационарная подъёмная и комбинированная флюсовые подушки с диафрагменным механизмом поджима флюса в комплексе с неподъёмным раздвижным роликовым полем: 1 – стационарная подъёмная флюсовая подушка; 2 – листовое полотнище; 3 – ролик роликового поля; 4 и 8 – передвижные поперечные балки; 5 и 7 – корпуса установки роликов 3; 6 – тяга; 9 – желоб с флюсом; 10 – диафрагменный прижим; 11 – шланговый механизм подъёма желоба 9; 12 – передвижная подъёмная флюсовая подушка

При подробном рассмотрении взаимодействия пневмошлангового механизма [5] и сжимаемой при его работе горки флюса выяснилось, что при поджиге горки флюса к обратной стороне свариваемого стыка прижатого к стенду сварки полотнища на высоту $h_{см}$ происходит смятие вершины горки, на её вершине образуется площадка шириной b (см. рис. 5). При этом при включении диафрагменного прижима возникают дополнительные усилия, стремящиеся опустить желоб.



Риунок 5 – Схема смятия вершины горки флюса

Усилие, с которым поджимаемый диафрагмой флюс воздействует на свариваемые кромки и желоб на 1-м погонном метре длины стыка равно:

$$Q_{\phi} = b \times L \times p, H \text{ (кгс)/м. п.}; \quad (1)$$

где: - b – ширина площадки смятия флюса, м;
 - L – погонный метр длины площадки смятия флюса;
 - p – рабочее давление в пневмокамере диафрагмы, МПа (кгс/см²).

Ширина площадки смятия флюса из решения треугольника ABC (рис. 3) b равна:

$$b = \frac{2h_{\text{см}}}{\tan \alpha}, \text{ м}; \quad (2)$$

где: - α – угол естественного откоса флюса.

Тогда усилие
$$Q_{\phi} = \frac{2h_{\text{см}}}{\tan \alpha} \times L \times p = h_{\text{см}} \times K_{\phi л}; \quad (3)$$

где: - $K_{\phi л}$ – коэффициент поджатия флюса, включающий в себя постоянные в форму-

ле величины и равный:
$$K_{\phi л} = \frac{2L}{\tan \alpha} \times p.$$

Максимальное значение высоты смятия равно максимальному ходу диафрагмы и равно для диафрагменных прижимов, применяемых в прямолинейных флюсовых подушках, 40 - 50-ти мм. Рабочее давление в пневмокамере диафрагмы по условиям её прочности используется не более чем 0,04 МПа (0,4 кгс/см²). Угол естественного откоса флюса α примерно равен 45 градусам, а его тангенс равен 1-це. Подставляя эти значения в формулу (3) получим усилие Q_{ϕ} равное 4000 Н (400 кгс). При недостаточности усилия пневмошлангового механизма при подъёме желоба с флюсом диафрагменный прижим при включении может отжимать желоб вниз. При этом снижаются усилия поджима и может ухудшаться плотность прилегания флюса к свариваемому стыку, что недопустимо, так как ведёт к ухудшению качества сварки. Для исключения этого необходимо, чтобы усилие пневмошлангового механизма подъёма желоба с флюсом (грузоподъёмность рукавов) превышало вес поднимаемых им элементов и сопротивление перемещению не менее, чем на 500 кгс (5000 Н).

ВЫВОДЫ

1. Флюсовые подушки для автоматической сварки под слоем флюса прямолинейных стыковых соединений листовых полотнищ классифицируются как стационарные и подвижные. Последние подразделяются на подъёмные, передвижные и комбинированные.

2. Наибольшее применение для сварки прямолинейных стыковых соединений листовых полотнищ получили четыре типа флюсовых подушек: стационарный без механизма поджима флюса, стационарный с диафрагменным механизмом поджима флюса, подъёмный без механизма поджима флюса и подъёмный с диафрагменным механизмом поджима флюса.

3. Первые три типа флюсовых подушек рекомендуется применять для сварки стыковых соединений в основном в стендах, в которых производится сварка только одного стыка. При этом для гарантированного поджима флюса первый тип рекомендуется применять при сварке стыков длиной до 4-х метров, второй и третий – при сварке стыков длиной до 10-ти метров и более. Первый и второй тип рекомендуется применять только при укладке свариваемого полотнища на флюсовую подушку (сверху грузоподъёмным устройством), третий – при укладке сверху и при подаче полотнища по рольгангу для сварки не более 2-х стыков на одной подушке. Четвёртый тип флюсовых подушек рекомендуется применять в стендах сварки поточно-механизированных линий с перемещением полотнищ в стендах по стационарному роликовому полю (стационарным рольгангам), в том числе, для сварки нескольких стыков на одной подушке.

4. При выборе рукавов и расчёте параметров пневмошланговых механизмов для обеспечения гарантированного поджатия флюса к обратной стороне свариваемого стыка для обеспечения высокого качества сварки необходимо, чтобы усилие пневмошлангового механизма подъёма желоба с флюсом (грузоподъёмность рукавов) превышало вес поднимаемых им элементов и сопротивление перемещению не менее чем на 500 кгс (5000 Н).

Список использованных источников:

1. Севбо, П. И. Конструирование и расчёт механического сварочного оборудования / П. И. Севбо. – Киев : Наукова думка, 1978. – 400 с.

2. Гитлевич, А. Д. Механизация и автоматизация сварочного производства / А. Д. Гитлевич, Л. А. Этингоф. – М. : Машиностроение, 1979. – 280 с.

3. Пристрій для запобігання зварювальної ванни : пат. 21105 Україна : МПК (2006) В 23 К 37/06 / Коросташевський П. В. – № u200607180; заявл. 27.06.2006; опубл. 15.01.2007, Бюл. № 1. – 5 с.

4. Пристрій для зварювання листових полотнищ : пат. 21106. Україна : МПК (2006) В 23 К 37/06 / Коросташевський П. В. – № u200607181; заявл. 27.06.2006; опубл. 15.01.2007, Бюл. № 1. – 3 с.

5. Роянов, В. А. Выбор параметров рукавов пневмошланговых механизмов специального технологического оборудования сварочного производства / В. А. Роянов, П. В. Коросташевский // Вісник Приазов. держ. техн. ун-ту : зб. наук. праць / ПДТУ. – 2007. – Вип. 17. – С. 146–149.

6. Рукава пожарные напорные. Общие технические условия : ДСТУ 3810-98. – Введ. 2000–01–01. – Київ : Держстандарт України. – 25 с.

7. Роянов, В. А. Принципы конструирования оборудования транспортных систем универсальных линий сборки и сварки листовых полотнищ / В. А. Роянов, П. В.

Коросташевский // Вісник Донбаської державної машинобудівної академії / ДДМА. – Краматорск, 2010. – № 2 (19). – С. 245–250.

Роянов В. О., Коросташевський П. В., Захарова І. В., Остапенко Б. Д.

КЛАСИФІКАЦІЯ, АНАЛІЗ ОСНОВНИХ КОНСТРУКЦІЙ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ ПО ВИБОРУ ФЛЮСОВИХ ПОДУШОК СТЕНДІВ АВТОМАТИЧНОГО ЗВАРЮВАННЯ ПРЯМОЛІНІЙНИХ СТИКОВИХ З'ЄДНАНЬ ЛИСТОВИХ ПОЛОТНИЦЬ

Розроблена загальна класифікація флюсових подушок для автоматичного зварювання під шаром флюсу прямолінійних стикових з'єднань листових полотниць у цистеробудуванні та котлобудуванні. Були проаналізовані конструкції основних типів флюсових подушок, які застосовують для цієї мети, та основні моменти їх застосування у виробництві. Висвітлено, що найбільшого застосування для зварювання прямолінійних швів стикових з'єднань листових полотниць у цистеробудуванні та котлобудуванні набули чотири типу флюсових подушок: стаціонарний без механізму притиску флюсу, стаціонарний з діафрагменним механізмом притиску флюсу, підйомний без механізму притиску флюсу і підйомний з діафрагменним механізмом притиску флюсу.

Перші три типу флюсових подушок рекомендовано застосовувати для зварювання стикових з'єднань у стендах, де виконується зварювання тільки одного з'єднання. При цьому для гарантованого притиску флюсу перший тип рекомендовано застосовувати для зварювання стиків довжиною до 4-х метрів, другий і третій - для зварювання стиків довжиною до 10-ти метрів та більше. Перший і другий тип рекомендовано застосовувати тільки при укладанні полотнища що зварюється на флюсову подушку зверху (вантажопідйомним пристроєм), третій – при укладанні полотнища зверху і при подачі його по рольгангу для зварювання не біль ніж двох стиків на одній подушці. Четвертий тип флюсових подушок рекомендовано застосовувати в стендах зварювання потоково-механізованих ліній з переміщенням полотнища по стаціонарним роликівим полям (стаціонарним рольгангам), у тому числі, для зварювання кількох стиків на одній подушці.

Розглянута та проаналізована робота діафрагменних притисків флюсових подушок разом з повітряношланговими механізмами, уточнені критерії вибору параметрів повітряношлангових механізмів підйому жолобів з флюсом. Рекомендовано при виборі шлангів і розрахунку параметрів повітряношлангових механізмів для гарантованого притиску флюсу к стику, якій зварюється, для забезпечення високої якості зварювання необхідно, щоб зусилля повітряношлангового механізму підйому жолоба з флюсом (вантажопідйомність шлангів) перевищувала вагу елементів, які піднімаються, а також опір переміщенню не менш ніж на 500 кгс (5000 Н).

Ключові слова: *флюсова подушка, автоматичне зварювання під шаром флюсу, прямолінійне стикове з'єднання, повітряношланговий механізм, діафрагменний притиск, притиск флюсу.*

Royanov V. A., Korostashevskiy P. V., Zakharova I. V., Ostapenko B. D.

THE CLASSING, ANALYSIS OF THE FOUNDATIONAL CONSTRUCTIONS AND THE RECOMMENDATIONS FOR THE FLUX PILLOWS CHOICE OF THE AUTOMATIC WELDING STENZ FOR THE STRAIGHT JOINTS OF THE SHEET PANELS WELDINGS

Машинобудування і зварювальне виробництво

The schematic classing of the flux pillows for the automatic welding under the flux layer straight joints of the sheet panels in the wagon-tank-building and in the tank-building was created. The constructions of the foundational types of the flux pillows which use for this and the main factors of their using in the manufacture were analyzing. It was determined, that the maximum using for the welding layer straight joints of the sheet panels in the wagon-tank-building and in the tank-building have four types of the flux pillow: steady without mechanize flux pressure to the sheet panels, steady with diaphragm mechanize flux pressure, lifting without mechanize flux pressure and lifting with diaphragm mechanize flux pressure to the sheet panels.

The first three types of the flux pillows recommended for using at the stands, where only one straight joint of the sheet panel is welding. At the same time, for the guarantee flux pressure the first type recommended for using for the welding straight joints length to four meters, the second and the third - for the welding straight joints length to ten meters and longer. The first and the second types recommended for using only when the sheet panel lies down on the flux pillow from the height (by carrying crane), the third - when the sheet panel lies down from the height and when it gives on the roller-table for the welding no more two joints on the one pillow. The fourth type of the flux pillows recommended for using at the gush-mechanical lines welding stands where sheet panels move on the steady roller fields (steady roller-tables), including for welding several straight joints on the one pillow.

The work of the diaphragm mechanize flux pressure of the flux pillows with the air hose machinery considered, the air hose machinery lift box of flus criterions of the parameters choice revised. Recommended, that during the choice hoses and calculations parameters air hose machinery for the guarantee flux pressure to the welding joint, for the securing high quality of the welding it is necessary to have the forces air hose machinery lifting flus box (the hoses capacity) more weight all the lifting parts and the resisting moving on 500 kgf (5000 N).

Key words: *flux pillow, automatic welding under the flux layer, straight joints, air hose mechanize, diaphragm mechanize pressure, flux pressure.*

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Щетинина В. И.
Статья поступила 4.11.2018 г.

УДК 621.923.74

Бурлаков В. І., Жук А. В.

ВАРІЮВАННЯ РАДІУСУ СКРУГЛЕННЯ РІЖУЧОЇ КРОМКИ ПЛАСТИН ПРИ ОБРОБЦІ ЇХ РІЗНИМИ АБРАЗИВНИМИ МАТЕРІАЛАМИ

Надтверді матеріали є синтетичними матеріалами на основі гексагонального або кубічного нітриду бору, який по твердості перевершує кермети і поступається тільки синтетичному алмазу. Тому все більшого поширення набуває обладнання для виготовлення лезвійних інструментів з полікристалів КНБ. Застосування такого ріжучого інструменту, оснащеного ріжучими пластинами з надтвердої кераміки, сприяє отриманню деталей із заданою шорсткістю, продовжує термін служби інструменту. Вірна заточка інструменту сприяє зменшенню відмов лезвійного інструменту через поломки або затуплення. Вібраційна обробка здатна надати такий шанс металооброблюючому виробництву в плані обробки КНБ і отриманню необхідного радіусу скруглення ріжучої кромки. Але якщо у якості ріжучого інструменту застосувати невеликий відсоток штучних алмазів (не більше 15 % через подорожчання інструменту), то таке завдання може бути полегшеним.

Машинобудування і зварювальне виробництво

Надтверді інструментальні матеріали призначені для чистої обробки матеріалів з високими швидкостями різання (більше, ніж 500 м/хв), а також матеріалів з великою твердістю (HRC >60). Найбільш поширеними надтвердими матеріалами є матеріали на основі кубічного нітриду бору. З нього виготовляють різці, оснащені ріжучими пластинами з композиту, причому ріжучі елементи можуть бути як переточуваними, так і у вигляді багатограних непереточуваних пластин.

Головними причинами переходу на лезвійний інструмент з кубічного нітриду бору є: збільшення терміну служби інструменту з КНБ, скорочення часу обробки і зменшення витрат за рахунок зміни способу обробки, заміна операції шліфування різанням. Відповідно, якщо необхідна продуктивна високошвидкісна обробка деталей, то бажано застосовувати CBN-пластини. Якість поверхонь, які обробляються за допомогою таких пластин, характеризується малою шорсткістю і високою точністю.

Ключові слова: *вібраційна обробка, кубічний нітрид бору, лезвійний інструмент, надтверда кераміка, радіус скруглення, ріжуча кромка, інструмент, штучні алмази, діамантовий порошок, монокорунд.*

Постановка проблеми. Отримання поверхні деталей заданої шорсткості при обробці є важливою проблемою, вирішення якої залежить від багатьох чинників. Неправильне заточування інструменту може привести до різкого збільшення вірогідності непрогнозованих відмов інструментів. Для вирішення проблеми підвищення якості продукції необхідні інструменти, які орієнтовані на високошвидкісну лезвійну обробку. Одним з чинників отримання високоякісного інструменту є необхідне скруглення ріжучої кромки лезвійного інструменту.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Розкриттю схожих проблем приділяли увагу такі учені, як: Бабічев А. П. [1], [4], який займався вібраційними процесами та зміцнюючими процесами, Суслов А. Г., Рижов Е. В., Федоров В. П. [2], які вирішували проблеми в області технологічного забезпечення експлуатаційних властивостей деталей машин, Ганієв Р. Ф. [3], що працював в області коливальних явищ у багатофазних середовищах і їх використання в технології, Трубіцин А. В. [5] який аналізував впливи параметрів режиму безцентрового шліфування високотвердого порошкового матеріалу на силові характеристики процесу, Муцянюк С. І. [6], працюючи в області абразивного заточування і доведення ріжучих інструментів.

Мета досліджень. Мета досліджень полягає в тому, щоб за допомогою віброабразивної обробки надтвердої кераміки з використанням штучних алмазів отримати оптимальний радіус скруглення ріжучої кромки, іншими словами, правильність скруглення ріжучої кромки приведе до збільшення терміну служби інструменту і підвищенню продуктивності обробки. Розробка керамічних ріжучих пластин, що дозволяють виконувати не тільки остаточну, але й попередню обробку деталей, є актуальною науково-технічною проблемою.

Основний матеріал досліджень. Автоматизація машинобудівного устаткування, збільшення швидкостей обробки і розширення номенклатури оброблюваних матеріалів зумовили необхідність розробки ефективних абразивних матеріалів, що зберігають здатність роботи в екстремальних умовах. Інструмент з алмазомістких композиційних матеріалів (АКМ) через рекордну твердість алмазів не можна замінити ніякими іншими матеріалами при обробці виробів з надтвердих матеріалів, скла, кераміки, природних і синтетичних матеріалів [1].

У якості зразків для дослідження застосовувалися ПСТМ на основі КНБ з формо-розмірами: квадратна пластина 12,7x12,7x3,0 мм (марка «Борсиніт», твердість НК 38–40 ГПа) і циліндр 7,5x5,0 мм (марка «Композит 05ІТ», твердість НК 18–20 ГПа).

Машинобудування і зварювальне виробництво

Як робоче середовище використовувалися суспензії з порошком монокорунду зернистістю по ФЕПА F100 - (по ГОСТ 12 зерно – 150 – 125 мікрон), з порошком ультрадисперсного алмазу марки УДА, з мікропорошком алмазу АСМ 20/14 і шліфпорошком алмазу АС6 100/80 в концентрації 5, 10 і 15 %.

Стосовно остаточних операцій механічної обробки деталей з чавунів, загартованих сталей і кольорових сплавів - це питання успішно вирішується шляхом використання інструментів з ріжучими пластинами з оксидної кераміки. Застосування цих інструментів завдяки високій твердості і теплостійкості кераміки, дозволяє в багато разів збільшити швидкість різання і ефективно виконувати прецизійну обробку деталей, при цьому технологічний процес відповідає постійно зростаючим екологічним нормам.

Використання інструментів з існуючими керамічними ріжучими пластинами на попередніх операціях механічної обробки деталей достатньо ефективне.

Найбільший інтерес для промисловості представляють інструменти з ріжучими пластинами з нітридної кераміки, що мають вельми широку сферу застосування.

Нітридну кераміку отримують або методом гарячого спікання, або методом гарячого ізостатичного пресування. Дуже важливою властивістю різців з нітриду кремнію є висока міцність ріжучої кромки і її надійність. При цьому можливе використання в процесі різання охолоджуваної рідини [2].

Інструменти з нітриду кремнію за даними зарубіжних фірм особливо добре зарекомендували себе при обробці чавуну (навіть в умовах великих змінних навантажень), а також при обробці нікелевих сплавів і сплавів алюмінію з високим вмістом кремнію [3].

Розширення сфери застосування інструментів, оснащених керамікою, може бути забезпечено тільки на основі комплексного підходу до їх розробки, виготовлення і експлуатації.

Одне із завдань, що вимагають недорогого і ефективного рішення при виготовленні ріжучого інструменту, - це скруглення кромки. Скруглення кромки - серйозна і багатогранна проблема, вирішення якої дозволяє значно збільшити надійність і довговічність виробу.

Необхідність скруглення кромки можна обґрунтувати комплексом завдань, що стоять перед технологами. Це і чистота поверхні при обробці, і зменшення зносу ріжучої кромки [4]. Радіус скруглення ріжучих кромок при цьому приймають рівним 0,008 – 0,02 мм.

Таким чином, тільки для важкооброблюваних матеріалів ця величина змінюється в межах 0,005 – 0,04 мм.

Величина радіусу скруглення ріжучих кромок і швидкість його утворення є функціями часу обробки, розміру і типу абразивного зерна. Вказані параметри підбирають емпірично у кожному конкретному випадку.

На рисунку 1 представлені фотографії поверхонь кромок різних зразків і величин радіусу скруглення.

Як можна побачити, радіуси скруглення ріжучої кромки є різними при обробці різними абразивними ріжучими матеріалами. Але при обробці надтвердої кераміки виникають свої особливості. Для продуктивної роботи необхідний ріжучий інструмент, здатний обробити кераміку. Як показали дослідження, таким інструментом можуть бути штучні алмази, але, у зв'язку з можливим дорожчанням собівартості обробки, штучні алмази складають лише 15 % відсотків в абразивній суміші, що застосовується в обробці. Номенклатура діамантових матеріалів достатньо обширна і тому ряд досліджень був проведений з метою відібрати для обробки найбільш продуктивні марки діамантових матеріалів. Такими виявилися алмази марки УДА – ультрадисперсні алмази, алмази АСМ 20/14 і діамантовий порошок марки АС6. Алмазні матеріали додавалися в монокорундову масу.

Машинобудування і зварювальне виробництво

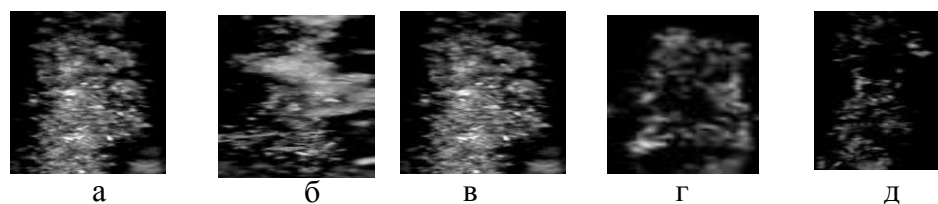


Рисунок 1 – Фотографії фрагментів кромки керамічних зразків, які округляються:
 а) Обробка проводилася сумішно монокорунду і порошку алмазу АСМ 20/14 в концентрації 15 %. Радіус скруглення - 0,003 мм. б) Обробка проводилася сумішно монокорунду і порошку алмазу АС6 в концентрації 10 %. Радіус скруглення - 0,008 мм.
 в) Обробка проводилася порошком алмазу УДА в концентрації 10 %. Радіус скруглення - 0,007 мм. гра) г) Обробка проводилася порошком алмазу АС6 в концентрації 10 %. Радіус скруглення - 0,0076 мм. д) Обробка проводилася порошком алмазу АСМ 20/14 в концентрації 15 %. Радіус скруглення - 0,006 мм

Проведені дослідження показали наступні результати, що приведені нижче. На практиці обробка за допомогою алмазів АСМ 20/14 виявилась більш продуктивною, але концентрація алмазного матеріалу АСМ 20/14 була більш високою, ніж концентрація ультрадисперсних алмазів. Тому, практично встановлено, що більш продуктивно обробляє алмазний матеріал УДА.

Широке технічне застосування алмазу обумовлене унікальними фізико-хімічними властивостями, пов'язаними з особливостями будови його кристалічної решітки. На рисунках 2,3,4 показані залежності знімання матеріалу від змісту діамантового порошку різних марок з метою, як було сказано вище, виділити оптимум [5].

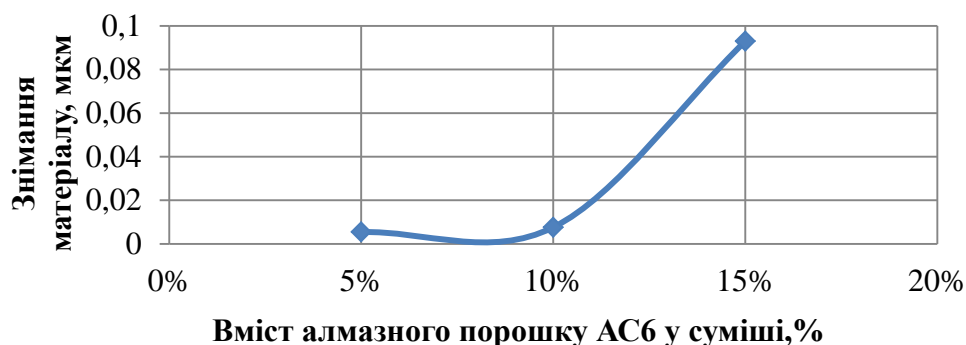


Рисунок 2 – Залежність радіусу скруглення кромки зразка від вмісту порошку алмазу АС 6 в суміші

Аналізуючи залежності, представлені на рисунках 2, 3, 4, можна зробити висновок, про те, що застосування будь-якого з трьох, представлених порошоків алмазів (АСМ, УДА і АС 6) вмістом 15 % в суміші з монокорундом дає найбільший результат радіусу скруглення, а якщо ж говорити конкретно про кожен порошок, то найвищу продуктивність продемонстрував алмазний порошок УДА в кількості 15 % в суміші.

Для отримання алмазного порошку УДА використовується вибухове перетворення, що називається детонацією. Застосовуються різні схеми вибухового навантаження, вибухові речовини з широким набором властивостей, міцні вибухові камери. Через малі розміри такі частинки отримали назву ультрадисперсних алмазів (УДА). Властивості таких алмазів багато

Машинобудування і зварювальне виробництво

в чому збігаються з властивостями натуральних алмазів, але відрізняються від натуральних величиною домішок [6]. Мабуть, тому їх застосування як абразивів і є прийнятнішим.

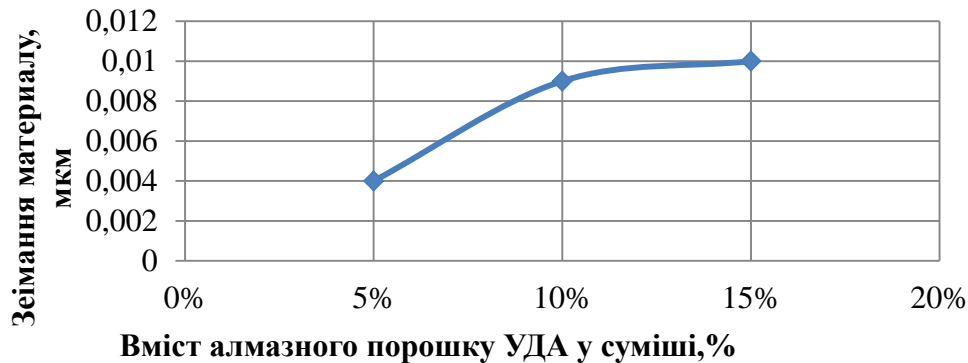


Рисунок 3 – Залежність радіусу скруглення кромки зразка від вмісту порошку алмазу УДА в суміші



Рисунок 4 – Залежність радіусу скруглення кромки зразка від вмісту порошку алмазу АСМ 20/14 в суміші

Для того, щоб підтвердити висновок про те, що саме абразивний матеріал на основі будь-якого алмазу може підвищити величину знімання матеріалу, було проведено низку досліджень. Обробка велася при застосуванні різного абразивного матеріалу, а також і сумішів матеріалів. Спочатку зразки оброблялися корундовими абразивними матеріалами, а потім у суміш додавалися й алмазні матеріали. На рисунку 5 показана залежність величини знімання матеріалу від вживаного абразивного матеріалу. Обробка обов'язково проводилась за одних й тих же умов, щоб виключити випадкову складову дослідження, а саме, постійного часу обробки та амплітуди вібрації.

Аналізуючи залежність, що приведена на рисунку 5, робимо висновок про те, що застосування ультрадисперсних алмазів як добавки в суміш абразивного порошку дозволило досягти достатньо високих результатів при обробці, причому, як самостійно, так і в суміші з монокорундом.

Аналізуючи графік, представлений на рисунку 6, можна зробити однозначний висновок про те, що час обробки безпосередньо впливає на радіус скруглення ріжучої кромки. У зв'язку з цим справедливо припустити, що чим довше відбуватиметься обробка зразків, тим більше буде величина скруглення ріжучої кромки. Отже, задавшись необхідним

Машинобудування і зварювальне виробництво

радіусом, можна вибрати час обробки. Радіус ріжучої кромки можна буде підбирати під будь-який вид обробки.

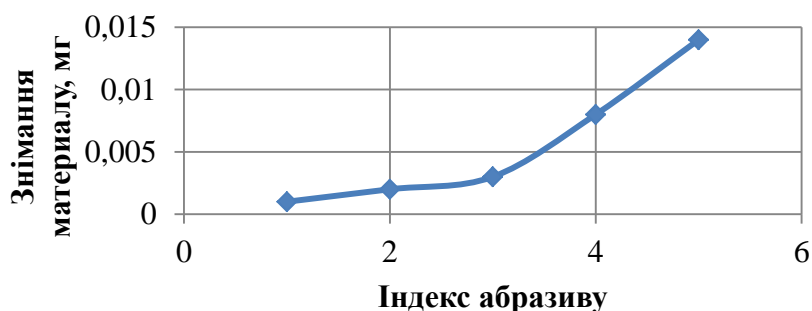


Рисунок 5 – Залежність радіусу скруглення від вживаного абразивного матеріалу (суміші):
 1 – монокорунд; 2 – монокорунд + корунд білий; 3 – монокорунд + 15 % АСМ 20/14;
 4 – монокорунд + 15 % АС 6; 5 – монокорунд + 15 % УДА

На відміну від зносу задньої поверхні інструменту радіус скруглення ріжучої кромки рівномірно збільшується впродовж всього періоду роботи ріжучого інструменту. На класичному графіку зносу ріжучого інструменту в даному випадку не з'являться ділянки кривих, майже паралельних осі часу, які завжди є на кривих зносу задньої поверхні. Зі збільшенням швидкості різання і товщини шару, що зрізається, знос ріжучої пластини збільшується.

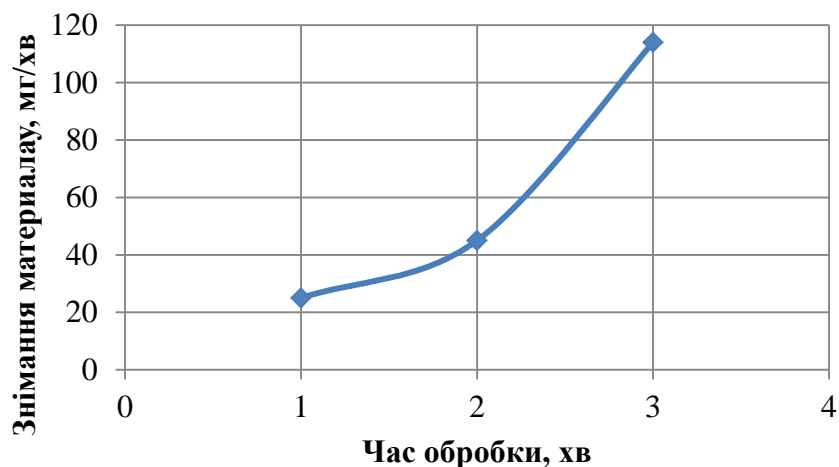


Рисунок 6 – Залежність радіусу скруглення від часу обробки:
 використовуваний абразивний матеріал - монокорунд + 15 % УДА.

У зв'язку з цим розробка керамічних ріжучих пластин, що дозволяють виконувати не тільки остаточну, але й попередню обробку деталей, є актуальною науково-технічною проблемою, яку можна вирішувати за допомогою застосування вібраційної обробки, і в якості ріжучого інструменту застосувати абразивний порошок з монокорунду з додаванням певної кількості штучних ультрадисперсних алмазів (УДА).

ВИСНОВКИ

1. Радіус скруглення збільшується із збільшенням часу обробки, тобто існує можливість отримувати необхідний радіус скруглення кромки варіюючи час обробки, знаючи величину знімання матеріалу в одиницю часу.

2. При обробці зразків сумішшю з монокорунду і 15 % алмазів УДА відбулося найбільше знімання матеріалу, тобто інтенсивність знімання матеріалу була найбільшою і як слідство був найбільшим і радіус скруглення кромки.

3. При обробці зразків різними абразивними матеріалами абразивний порошок з додаванням ультрадисперсних алмазів був найбільш продуктивним.

Список використаних джерел:

1. Отделочно-упрочняющая обработка деталей многоконтактным виброударным инструментом / *А. П. Бабичев [и др.]*. – Ростов-на-Дону : ДГТУ, 2003. – 192 с.
2. Суслов, А. Г. Технологическое обеспечение эксплуатационных свойств деталей машин / *А. Г. Суслов, Э. В. Рыжов, В. П. Федоров*. – М. : Машиностроение, 2010. – 192 с.
3. Ганиев, Р. Ф. Колебательные явления в многофазных средах и их использование в технологии / *Р. Ф. Ганиев*. – Киев : Техника, 1980. – 500 с.
4. Бабичев, А. П. Основы вибрационной технологии / *А. П. Бабичев, И. А. Бабичев*. – Ростов-на-Дону : ДГТУ, 2008. – 300 с.
5. Трубицын, А. В. Анализ влияния параметров режима бесцентрового шлифования высокотвердого порошкового материала на силовые характеристики процесса / *А. В. Трубицын, В. И. Свирицев* // Инновации в машиностроении – основа технологического развития России : материалы VI Междунар. научно-техн. конф. / АлтГТУ. – Барнаул, 2014. – С. 202–205.
6. Муцянко, В. И. Абразивная заточка и доводка режущих инструментов / *В. И. Муцянко*. – Л. : Машиностроение, 1967. – 158 с.

Бурлаков В. И., Жук А. В.

ВАРЬИРОВАНИЯ РАДИУСА СКРУГЛЕНИЯ РЕЖУЩЕЙ КРОМКИ ПЛАСТИН ПРИ ОБРАБОТКЕ ИХ АБРАЗИВНЫМИ МАТЕРИАЛАМИ

Сверхтвердые материалы являются синтетическими материалами на основе гексагонального или кубического нитрида бора, который по твердости превосходит керметы и уступает только синтетическому алмазу. Поэтому все большее распространение получило применение для масла к изготовления лезвийных инструментов поликристаллов КНБ. Применение такого режущего инструмента, оснащенного режущими пластинами из сверхтвердой керамики способствует получения деталей с заданной шероховатостью, продлевает срок службы инструмента. Правильная заточка инструмента способствует уменьшения отказов лезвийного инструмента из-за поломок или затупления. Вибрационная обработка способна предоставить такой шанс металлообрабатывающему производству в плане обработки КНБ и получению необходимого радиуса скругления режущей кромки. А если в качестве режущего инструмента применить небольшой процент искусственных алмазов (не более 15 % из-за удорожания инструмента), то такая задача может быть облегчена.

Ключевые слова: *вибрационная обработка, кубический нитрид бора, лезвийный инструмент, сверхтвердая керамика, радиуса скругления, режущая кромка, инструмент, искусственные алмазы, алмазный порошок, монокорунд.*

Burlakov V. I., Zhuk A. V.

VARIATION OF THE RADIUS OF CURVING CUTTING THE EDGE OF PLATES WHEN TREATING THEIR ABRASIVE MATERIALS

Super hard materials are synthetic materials on the basis of hexagonal or cube nitride of the coniferous forest which on hardness excels cermets and yields only to the synthetic diamond. Therefore all of great r distribution was got by application for making of blade tool of polycrystals KNB. Application of such toolpiece, equipped cuttings plates from super hard ceramics promotes receipts of details with a preset roughness, prolongs the term of service of tool. correct sharpening of instrument promotes diminishing of refuses of bladeinstrument from breakages or dullnes. Oscillation treatment is able to give such chance a metalworking production in the plan of treatment of KNB and receipt of necessary radius of rounding of cutting edge. And if as a toolpiece to apply the small percent of artificial diamonds (no more than 15 % from a rise in the prices of tool), such task can be facilitated.

Super hard instrumental materials are intended for clean treatment of materials with high-rate of cutting (>500 mcodes/mines), and also materials with large hardness of HRC >60). The most widespread super hard materials are materials on the basis of cube nitride of the coniferous forest. Make chisels, equipped cuttings plates from a compo, thus cuttings elements can be both by a regrind and as many-sided throw-away plates.

By main reasons of passing to the blade tool from cube nitride of the coniferous forest are: increase of term of service of tool from KNB, reduction of time of treatment and diminishing of expenses due to the change of method of treatment, replacement the operation of polishing cutting. Accordingly, if we need productive high speedtreatment of details, it is desirable to apply CBN-plates. Quality of surfaces which are processed by such plates is characterized a small roughness and high exactness.

Keywords: *oscillation treatment, cube nitride of the coniferous forest, blade tool, сверхтвердая ceramics, radius of rounding, cutting edge, tool, artificial diamonds, diamond powder, monocorundum.*

Рецензент: д-р техн. наук, проф., ДВНЗ «ПДТУ» С. С. Самоутугін
Стаття надійшла 04.10.2018 р.

УДК 621.338.27:537.221

Яценко І. В.

ПОКРАЩЕННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ОПТИЧНИХ ЕЛЕМЕНТІВ ОПТИКО-ЕЛЕКТРОННИХ ПРИЛАДІВ

Для запобігання негативного впливу зовнішніх термічних дій на експлуатаційні характеристики оптичних елементів оптико-електронних приладів практичне значення має їх фінішна електронно-променева обробка, що перешкоджає виникненню дефектів на поверхні елементів (тріщин, відшарувань, напливів, хвилеподібних ділянок і ін.), що призводять до різкого погіршення техніко-експлуатаційних характеристик приладів та їх

Машинобудування і зварювальне виробництво

відмов при експлуатації. Метою роботи є покращення експлуатаційних характеристик оптичних елементів оптико-електронних приладів шляхом їх фінішної електронно-променевої обробки. Проведено експериментальні дослідження та встановлено оптимальні діапазони зміни параметрів електронного променя (густина теплового впливу $F_n = 7 \cdot 10^6 \dots 8 \cdot 10^8 \text{ Вт/м}^2$ і швидкості переміщення $V = 5 \cdot 10^{-3} \dots 5 \cdot 10^{-2} \text{ м/с}$), в межах яких спостерігається покращення експлуатаційних характеристик поверхневих шарів елементів: площа, займана негативними дефектами на поверхні зменшується у 1,8...2,7 рази і підвищується її чистота, зберігається площинність; залишкові мікрошорсткості зменшуються від 30...40 нм до 0,5...1,2 нм; максимальна товщина оплавлених шарів досягає до 250...300 мкм; мікротвердість поверхні збільшується у 1,3...1,7 рази; виникають зміцнені шари товщиною 210...230 мкм. При цьому відбувається зміна структури шарів і їх гомогенізація, кремнекиснева сітка стає близькою до кварцового скла. Це призводить до зменшення коефіцієнта світлорозсіювання поверхневих шарів елементів і збільшення коефіцієнта пропускання ІЧ-випромінювання.

Ключові слова: оптико-електронні прилади, оптичне скло, оптична кераміка, електронний промінь, експлуатаційні характеристики.

Вступ. Області застосування сучасних оптико-електронних приладів, які постійно розширюються, гостро ставлять проблему підвищення їх ефективності при експлуатації у екстремальних умовах.

Оптичні елементи приладів в цих умовах піддаються інтенсивним зовнішнім впливам (підвищені температури нагріву, зовнішні тиски, ударні термовпливи в умовах надзвукового обдуву потоком повітря і вісесиметричного обертання тощо).

Ці зовнішні впливи призводять до утворення на поверхні оптичних елементів і в їх поверхневих шарах тріщин, сколів, хвилеподібних поверхонь, які порушують їх площинність, і інших негативних дефектів. При цьому погіршуються експлуатаційні характеристики оптичних елементів, що впливають на точність і діапазони вимірювань оптико-електронних приладів, надійність в умовах зовнішніх термодій [1 – 4].

Існуючі методи підвищення експлуатаційних характеристик елементів оптико-електронних приладів (лазерних далекомірів прицільних комплексів, лазерних медичних приладів, ІЧ-приладів самонаведення і спостереження, дзеркал космічного та аерокосмічного призначення тощо) не завжди забезпечують їх нормативні значення, особливо в екстремальних умовах експлуатації.

Нові можливості покращення експлуатаційних характеристик оптичних елементів приладів відкриваються завдяки цілеспрямованій зміні фізико-механічних властивостей їх поверхневих шарів шляхом їх модифікації. Одним з ефективних методів поверхневої обробки оптичних матеріалів є рухомий електронний промінь, який дозволяє модифікувати поверхневі шари оптичних елементів змінюючи їх експлуатаційні характеристики, а також точність, діапазони вимірювань і надійність приладів [5 – 15].

Явища, пов'язані з впливом технологічних параметрів на експлуатаційні характеристики оптичних елементів приладів вивчені не повною мірою і не систематизовані.

Це обумовлює актуальність розробки методів керування властивостями робочих поверхонь оптичних елементів приладів шляхом використання електронно-променевих методів їх фінішної обробки, які покращують їх експлуатаційні характеристики, а також дозволяють збільшувати точність, розширювати діапазони вимірювання і підвищувати надійність приладів в умовах зовнішніх термовпливів.

Тому метою даної роботи є покращення експлуатаційних характеристик елементів оптико-електронних приладів шляхом їх фінішної електронно-променевої обробки.

Машинобудування і зварювальне виробництво

Характеристика оптичних елементів і методів дослідження. Для дослідження впливу параметрів електронного променя на експлуатаційні характеристики елементів з оптичного скла (К8, К208, БК10) і керамік (КО1, КО2, КО3, КО5, КО12) використовувались диски діаметром $3 \cdot 10^{-2} \dots 5 \cdot 10^{-2}$ м та товщиною $4 \cdot 10^{-3} \dots 6 \cdot 10^{-3}$ м [2, 5, 8].

Для проведення експериментальних досліджень використовували сучасні методи фізико-хімічного аналізу [16 – 18]: методи растрової електронної мікроскопії (РЕМ) і трансемісійної електронної мікроскопії (ТЕМ) для дослідження структури поверхні і поверхневих шарів елементів, а також визначення товщини оплавлених шарів; методи атомно-силової мікроскопії (АСМ) і мікроіdentування за Віккерсом для вимірювання залишкових мікрошорсткостей на поверхні елементів, а також її мікротвердості; методи зйомки в рентгенівських променях на дифрактометрі ДРОН 2,0 і ДРОН 3,0 для вимірювання величин термопружних напружень в поверхневих шарах елементів; спектрометричні методи хвильової дисперсії для аналізу елементного складу поверхневих шарів елементів; спектрофотометричні методи для вимірювання коефіцієнтів розсіювання і пропускання ІЧ-випромінювання деталей.

Для фінішної електронно-променевої обробки поверхневих шарів елементів з метою поліпшення їх експлуатаційних характеристик використовували вдосконалену установку в частині розробленої технологічної оснастки для автоматизованого вимірювання та контролю температури оброблюваної поверхні, а також зондування електронного променя, яка захищена патентами України [7, 8] (рис. 1).

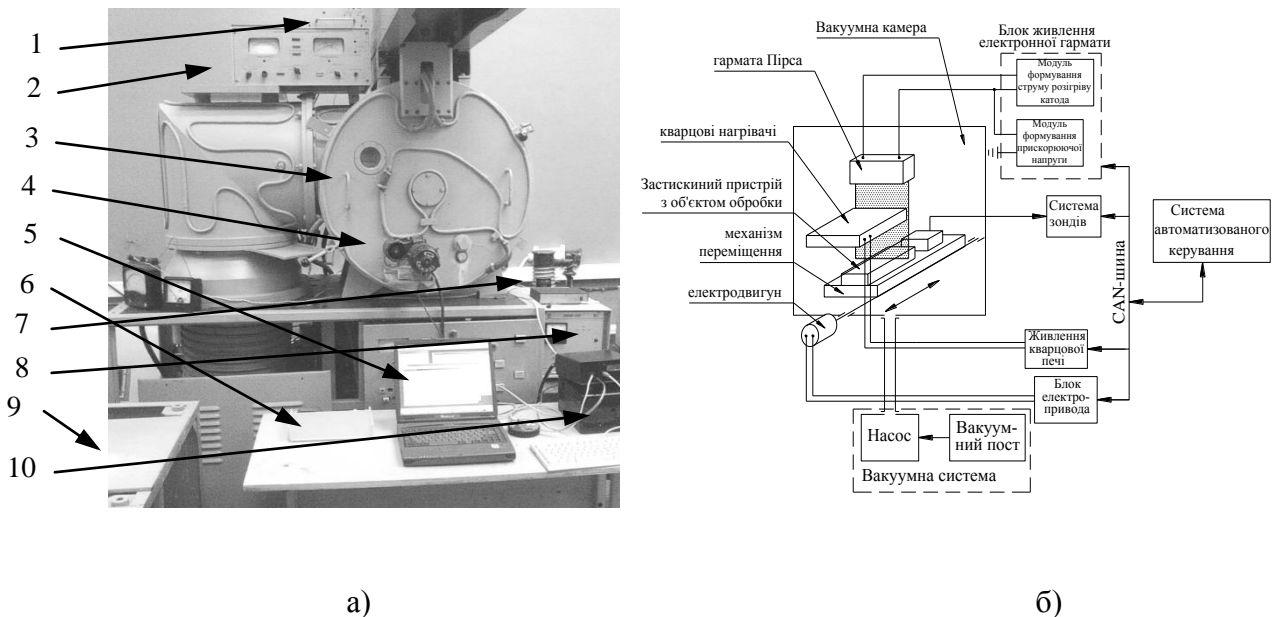


Рисунок 1 – Зовнішній вигляд (а) і схема (б) установки для фінішної електронно-променевої обробки оптичних елементів, яка покращує їх експлуатаційні характеристики:

- 1 – вакуумметр магнітно-блокувальний ВМБ-8; 2 – вакуумметр іонізаційно-термопарний ВИТ-3; 3 – вакуумна камера; 4 – електропривод механізму переміщення оптичних елементів; 5 – ПК управління установкою; 6 – модулі вимірювання температури в зоні обробки і зондування електронного променя; 7 – система управління температурним режимом оптичних елементів на базі приладу РИФ-101; 8 – центральний блок системи автоматизованого управління; 9 – блок живлення та система управління електронної гармати Пірса; 10 – блок керування електроприводом

Машинобудування і зварювальне виробництво

В результаті проведених досліджень по зондування електронного променю відомим методом обертового зонда [7, 8] встановлено емпіричні залежності щільності теплового впливу в його центрі від керованих параметрів електронно-променевої установки (відносна похибка 5...8 %):

$$F_n(I_l, V_y, l) = \sqrt{\frac{k_0(I_l, l)}{\pi}} \cdot \frac{I_l \cdot V_y}{B \cdot \operatorname{erf}[b(I_l, l) \cdot \sqrt{k_0(I_l, l)}]}, \quad (1)$$

$$k_0(I_l, l) = 1,237 \cdot 10^7 - 6,587 \cdot 10^5 l - 3,725 \cdot 10^4 I_l + 1,518 \cdot 10^2 I_l l, \quad (2)$$

$$b(I_l, l) = \frac{1,75}{\sqrt{k_0(I_l, l)}}, \quad (3)$$

де k_0 , $2b$ – коефіцієнт зосередженості (гострота теплового імпульсу) і товщина електронного променю, м; I_l – струм електронного променю, мА; V_y – прискорювальна напруга, кВ; l – відстань від оброблюваної поверхні оптичного елемента, м. Встановлено, що для робочих діапазонів зміни зазначених параметрів установки ($I_l = 50...300$ мА, $V_y = 6...8$ кВ, $l = 0,04...0,08$ м) реалізуються наступні діапазони зміни енергетичних характеристик електронного променю: $k_0 = (0,5...5) \cdot 10^7$ м⁻²; $2b = (0,5...1,5) \cdot 10^{-3}$ м; $F_n = 10^6...10^9$ Вт/м². При цьому швидкість переміщення променю змінювалась в межах $V = 0...0,1$ м/с.

Результати досліджень та їх аналіз. Вивчення сканограм поверхонь шліфів з відколів елементів до і після електронно-променевої обробки показують, що в першому випадку висота мікрошорсткостей становить 30...40 нм, а в другому – знижується до рівня 0,5...1,2 нм.

Визначено вплив параметрів електронного променю на висоту залишкових мікрошорсткостей: збільшення густини теплового впливу електронного променю F_n від 10^7 Вт/м² до $8,5 \cdot 10^7$ Вт/м² для швидкості його переміщення $V = 8 \cdot 10^{-3}...5 \cdot 10^{-2}$ м/с, призводить до зменшення висоти залишкових мікрошорсткостей від 3...5 нм до 1,0...1,5 нм (рис. 2 при $V = 5 \cdot 10^{-2}$ м/с (1); $V = 8 \cdot 10^{-3}$ м/с (2)).

Встановлено, що максимальна товщина оплавленого шару h_m може досягати значень 250...300 мкм, які можуть перевищувати гранично допустимі величини $h^* = 150...200$ мкм, що призводить до порушення площинності та геометричної форми оптичного елемента (рис. 3 для елементів з оптичного скла BK10 (1) і ТФ10 (2) при значеннях густини теплового впливу

$$F_n = 5 \cdot 10^8 \text{ Вт/м}^2 \text{ и } F_n = 3 \cdot 10^8 \text{ Вт/м}^2).$$

При цьому величина h_m істотно залежить від густини теплового впливу променю F_n і швидкості його переміщення V : збільшення F_n від $7 \cdot 10^6$ Вт/м² до $8 \cdot 10^8$ Вт/м² призводить до збільшення товщини оплавленого шару від 25 мкм до 230 мкм; збільшення швидкості руху електронного променю від 10^{-3} м/с до 10^{-2} м/с призводить вже до зменшення глибини оплавлення від 200 мкм до 30 мкм. Встановлено, що сформовані електронним променем поверхневі шари на поверхні елементів з оптичного скла мають різною мірою змінений хімічно склад. Так, аналіз зміни елементного складу поверхневих шарів (товщиною до 20...40 мкм) елементів з скла К8, К108, К208, проведений за допомогою спектрометра хвильової дисперсії, показав зменшення концентрації Na та O, збільшення концентрації Si і незмінність концентрації K (рис. 4, 5).

Машинобудування і зварювальне виробництво

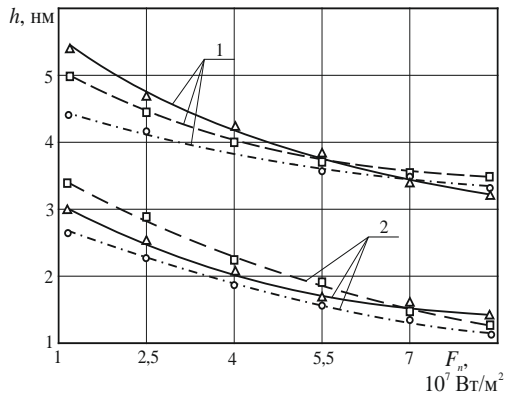


Рисунок 2 – Залежність висоти залишкових мікронерівностей на поверхні елементів з оптичного скла К8 (—), ТФ10 (---) та БК10 (- · - ·) від густини теплового впливу електронного променя для різних швидкостей його переміщення: $V = 5 \cdot 10^{-2}$ м/с (1); $V = 8 \cdot 10^{-3}$ м/с (2) (Δ , \circ , \square – експериментальні дані).

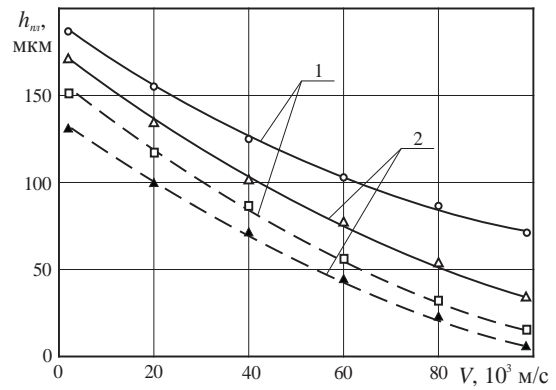


Рисунок 3 – Залежність максимальної товщини оплавленого шару в елементах з оптичного скла БК10 (1) та ТФ10 (2) при $F_n = 5 \cdot 10^8$ Вт/м² (—) та $F_n = 3 \cdot 10^8$ Вт/м² (---) від швидкості руху електронного променя (Δ , \circ , \square , \blacktriangle – експериментальні дані)

У той же час методом рентгеноструктурного аналізу на прикладі необроблених і оброблених електронним променем елементів зі скла БК10 (ТФ10) показано, що помітної кількісної зміни хімічного складу шарів не спостерігається, однак можна зробити висновок про покращення однорідності розподілу елементів в мікрооб'ємах поверхневих шарів елементів після електронної обробки.

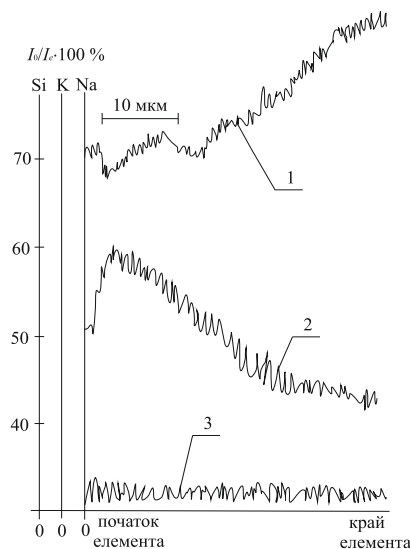
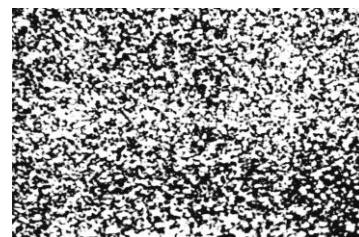
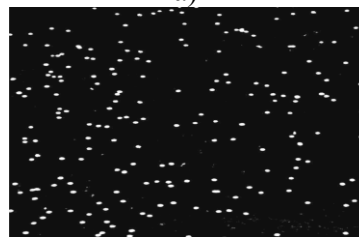


Рисунок 4 – Концентраційні розподіли елементів на поверхні елементів з оптичного скла К108 після електронної обробки: 1 – $\text{Si} \cdot 10^4$, імп/с; 2 – $\text{Na} \cdot 10^3$, імп/с; 3 – $\text{K} \cdot 10^2$, імп/с.



а)



б)

Рисунок 5 – Концентраційні розподіли $O_{\kappa\alpha}$ на поверхні елементів з оптичного скла К108: а) – до електронної обробки; б) – після електронної обробки.

Машинобудування і зварювальне виробництво

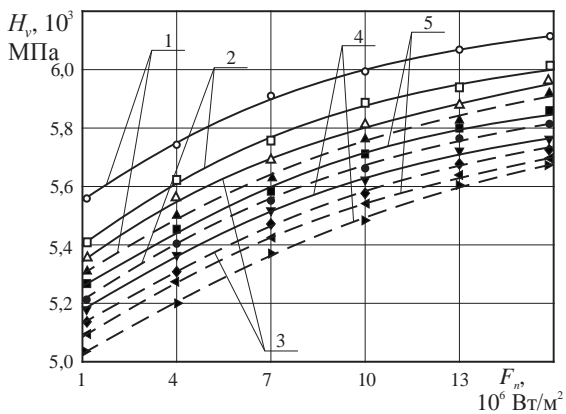


Рисунок 6 – Залежність мікротвердості поверхні елементів з оптичних керамік КО12 (1), КО2 (2), КО1 (3), КО5 (4) та КО3 (5) при $V = 7 \cdot 10^{-3}$ м/с (—) та $V = 1,5 \cdot 10^{-2}$ м/с (---) від густини теплового впливу електронного променя (Δ , \circ , \square , \blacktriangle , \blacksquare , \blacklozenge , \blacktriangledown , \bullet , \blacktriangleright , \blacktriangleleft – експериментальні дані)

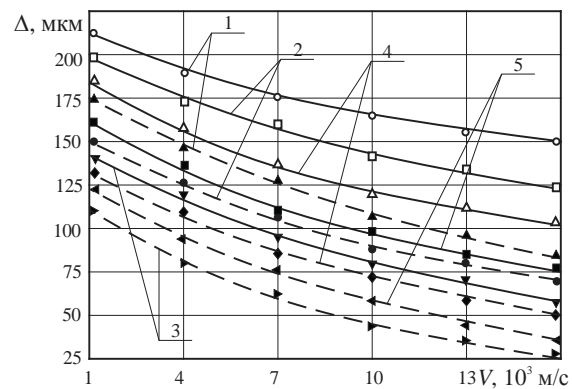


Рисунок 7 – Залежність товщини зміцнених шарів елементів з оптичних керамік КО12 (1), КО2 (2), КО1 (3), КО3 (4) та КО5 (5) при $F_n = 1,5 \cdot 10^7$ Вт/м² (—) та $F_n = 2 \cdot 10^6$ Вт/м² (---) від швидкості переміщення електронного променя (Δ , \circ , \square , \blacktriangle , \blacksquare , \blacklozenge , \blacktriangledown , \bullet , \blacktriangleright , \blacktriangleleft – експериментальні дані)

Встановлено, також, що електронно-променева обробка елементів з оптичного скла оплавленням призводить не тільки до гомогенізації поверхні, але і орієнтованої перебудови біля поверхні кремнекисневої сітки скла, близькою до структури кварцового скла. Це обумовлено, в основному, видаленням іонів К, а також інших елементів-модифікаторів при впливі високих температур на поверхні, аж до 1300...1600 К.

Електронно-мікроскопічний аналіз знімків поверхонь та поперечних шліфів елементів з оптичної кераміки до і після електронно-променевої обробки показує, що відбувається помітна зміна структури по глибині елемента (до 200...250 мкм).

Визначено, що вплив електронного променя на елементи з оптичної кераміки ($F_n = 10^6 \dots 2 \cdot 10^7$ Вт/м², $V = 10^{-3} \dots 2 \cdot 10^{-2}$ м/с) призводить до збільшення мікротвердості її поверхні в залежності від параметрів електронного променя: збільшення F_n від 10^6 Вт/м² до $1,5 \cdot 10^7$ Вт/м² призводить до збільшення мікротвердості поверхні кераміки у 1,5...1,7 рази, а зменшення V від $1,5 \cdot 10^{-2}$ м/с до 10^{-3} м/с призводить до збільшення мікротвердості поверхні кераміки у 1,3...1,4 рази (рис. 6).

Встановлено, що товщина зміцненого шару (Δ), де виникають основні структурні зміни та підвищується мікротвердість оброблюваного матеріалу, змінюється в діапазоні від 70 ... 90 мкм до 210 ... 230 мкм при товщині оброблюваних елементів $4 \dots 6 \cdot 10^{-3}$ м (рис. 7).

Величина Δ залежить від параметрів електронного променя: збільшення F_n від 10^6 Вт/м² до $2 \cdot 10^7$ Вт/м² призводить до збільшення товщини зміцненого шару у 1,8...2,6 рази, а збільшення швидкості руху променя від $1,5 \cdot 10^{-3}$ м/с до $2 \cdot 10^{-2}$ м/с призводить до зменшення товщини зміцненого шару в 1,7...2,5 рази.

Показано, що незалежно від природи кераміки (КО1, КО2, КО3, КО12, КО5) у поверхневих шарах елементів, які оброблені електронним променем, для розглянутих діапазонів зміни густини теплового впливу (до $1,5 \cdot 10^7$ Вт/м²) і швидкості переміщення (до $2 \cdot 10^{-2}$ м/с) помітних фазових змін не спостерігається, але має місце збільшення розміру кристалічних зерен матеріалу. За відносним розширенням ліній в рентгенограмах встановлено, що практично незалежно від кристалографічних напрямків в кристалічних решітках керамік після електронної обробки виникає помітна зміна мікровикривлень та розмірів блоків мозаїки (табл. 1).

З даних табл. 1 випливає, що вплив електронного променя на поверхню елементів з оптичних керамік призводить до збільшення блоків мозаїки у 3,3...7,7 рази і зменшення у 3,7...5,9 рази мікродеформацій кристалічної решітки.

При цьому встановлено, що незалежно від технологічних режимів обробки елементів з оптичних керамік у всіх випадках спостерігається збільшення розмірів блоків мозаїки та зменшення мікродеформацій їх кристалічних ґраток, тобто в результаті електронної обробки отримуються більш грубозернисті поверхневі шари зі стискаючими напруженнями у кристалічних ґратках.

В результаті проведених досліджень встановлено (рис. 8 – 11), що в разі електронно-променевої обробки оптичних елементів відбувається збільшення такої важливої оптичної характеристики, як спектральний коефіцієнт пропускання ІЧ-випромінювання $k_\lambda(\lambda)$ (λ – довжина хвилі, похибка не більше $5 \cdot 10^{-3}$) для всіх діапазонів ІЧ-прозорості елементів (табл. 2).

Отримано, що для елементів з оптичного скла К8 та БК10 значення k_λ зростають на 4...6 %, а для елементів з оптичних керамік КО1, КО2 та КО5 – на 5...7 %; при цьому значення k_λ для елементів з оптичних керамік КО3 та КО12 не змінюються.

Збільшення спектрального коефіцієнта пропускання ІЧ-випромінювання для елементів з оптичного скла відбувається в результаті зменшення кількості та розмірів негативних дефектів на поверхні і в поверхневих шарах (подряпин, тріщин, горбків, пухирців, западин тощо) при їх проплавленні під впливом електронного променя. Наслідком цього є зменшення залишкових мікрошорсткостей h (нм) на їх поверхнях і збільшення глибини оплавлення h_m (мкм) до гранично допустимих значень h^* .

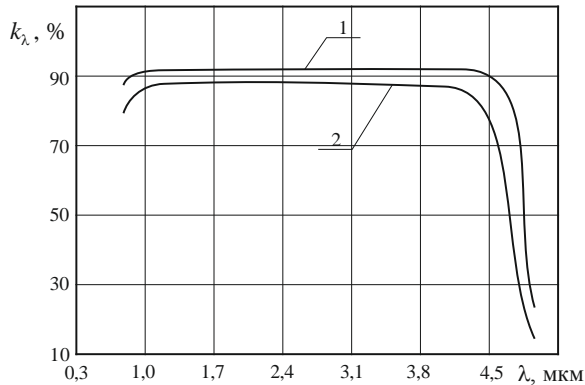


Рисунок 8 – Залежність спектрального коефіцієнта пропускання ІЧ-випромінювання необроблених елементів з оптичного скла К8 (1) та БК10 (2) (товщина елемента $H = 10^{-2}$ м)

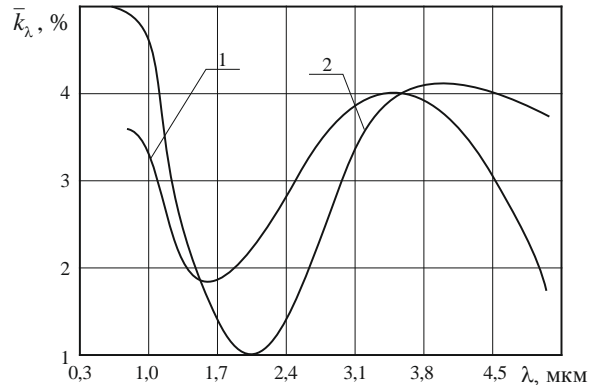


Рисунок 9 – Залежність відносного спектрального коефіцієнта пропускання ІЧ-випромінювання оптичними елементами з скла К8 (1) та БК10 (2) (товщина плоского шару елемента $H = 10^{-2}$ м; $T_0 = 300$ К; $\bar{k}_\lambda = \frac{k_\lambda^{обп}}{k_{\lambda 0}}$, де $k_\lambda^{обп}$ – значення коефіцієнта

k_λ після електронно-променевої обробки; $k_{\lambda 0}$ – його значення до електронно-променевої обробки; $F_n = 1,5 \cdot 10^7$ Вт/м², $V = 7 \cdot 10^{-3}$ м/с) від довжини хвилі

Для елементів з оптичних керамік збільшення k_λ відбувається в результаті структурних змін поверхневих шарів (збільшуються розміри блоків мозаїки, шари стають

більш компактними тощо), що призводять до збільшення мікротвердості їх поверхонь H_v та формування зміцнених шарів товщиною Δ .

Отримано, що в результаті електронно-променевої обробки оптичних елементів без оплавлення відбувається гомогенізація хімічного складу продуктів гідролізу (розпад K_2O и Na_2O по глибині впливу електронного променя до 20...40 мкм), які заповнюють дефектний приповерхневий шар, який залишається після стандартної механічної обробки, що призводить до покращення оптичних характеристик поверхневих шарів елементів, а саме – до зменшення коефіцієнта світлорозсіювання їх поверхні (довжина хвилі $\lambda = 632,8$ нм).

В результаті проведених досліджень було встановлено, що в разі електронно-променевої обробки оптичних елементів значення коефіцієнта світлорозсіювання k_c зменшуються на 10...30 %.

Аналіз результатів проведених експериментальних досліджень показав, що встановлені покращення експлуатаційних характеристик оптичних елементів спостерігаються для наступних оптимальних діапазонів зміни параметрів електронного променя :

$$F_n = 7 \cdot 10^6 \dots 8 \cdot 10^8 \text{ Вт/м}^2, V = 5 \cdot 10^{-3} \dots 5 \cdot 10^{-2} \text{ м/с.}$$

Таблиця 1 – Результати обробки експериментальних даних з розширення ліній на рентгенограмах, розміри блоків мозаїки (D) і зміна параметрів $\frac{\Delta d}{d}$ кристалічної решітки ($F_n = 3 \cdot 10^6 \text{ Вт/м}^2, V = 3 \cdot 10^{-3} \text{ м/с}$)

Параметр	Необроблений зразок			
	Фізичне розширення двох ліній		Розмір блоків $D, \text{ \AA}$	Зміна параметрів кристалічної решітки $\frac{\Delta d}{d} \cdot 10^{-4}$
Кераміка	$\beta_1 \cdot 10^{-3}, \text{ рад}$	$\beta_2 \cdot 10^{-3}, \text{ рад}$		
КО1	1,472	1,734	1150	3,421
КО2	1,283	1,452	980	1,643
КО12	1,514	1,812	1240	3,810
КО3	1,120	1,320	890	1,225
КО5	1,132	1,289	760	1,117
Оброблений зразок				
КО1	0,687	0,231	4430	0,873
КО2	0,321	0,108	5250	0,291
КО12	0,746	0,254	4110	0,992
КО3	0,224	0,986	4210	0,193
КО5	0,589	0,637	5850	0,987

Машинобудування і зварювальне виробництво

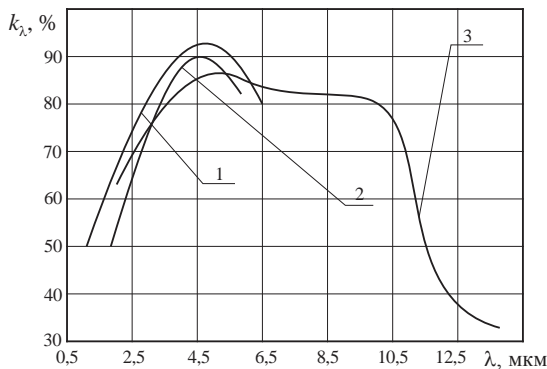


Рисунок 10 - Залежність

спектрального коефіцієнта пропускання ІЧ-випромінювання для необроблених електронним променем елементів з оптичних керамік КО5 (1), КО1 (2) та КО2 (3) (товщина елемента $H = 10^{-2}$ м) від довжини хвилі

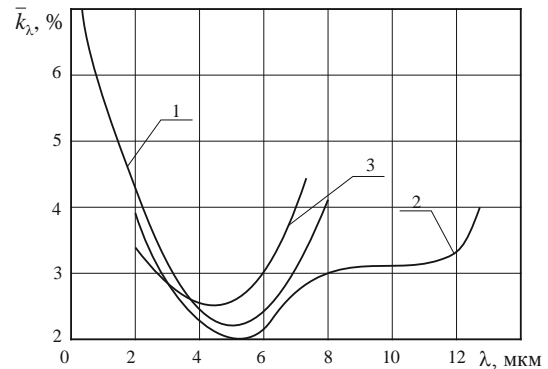


Рисунок 11 - Залежність відносного

спектрального коефіцієнта пропускання ІЧ-випромінювання елементами з оптичних керамік КО5 (1), КО2 (2) та КО1 (3) (товщина плоского шару елемента $H = 10^{-2}$ м; $T_0 = 300$ К; $F_n = 1,5 \cdot 10^7$ Вт/м², $V = 7 \cdot 10^{-3}$ м/с) від довжини хвилі

Таблиця 2 – Области ІЧ-прозорості оптичних елементів $\Delta\lambda = \lambda_2 - \lambda_1$ (при $H = 4 \cdot 10^{-3}$ м – для оптичного скла та $H = 10^{-2}$ м – для оптичних керамік)

Матеріал елемента $\Delta\lambda$, мкм	К8, БК10	О1	К О2	К О5
$\Delta\lambda = \lambda_2 - \lambda_1$, мкм	5 – 0,76	– 2	1 2,5 – 2	8 – 0,76

Таким чином, в світлі сучасних новітніх технологій, що використовуються в оптико-електронному приладобудуванні, електронно-променевої обробка оптичних елементів визначається як потенційно здатна покращувати експлуатаційні характеристики елементів оптико-електронних приладів, що сприяє підвищенню їх надійності в екстремальних умовах експлуатації.

ВИСНОВКИ

1. Встановлено, що для оптимальних діапазонів зміни параметрів електронного променя (густини теплового впливу $F_n = 7 \cdot 10^6 \dots 8 \cdot 10^8$ Вт/м² і швидкості переміщення $V = 5 \cdot 10^{-3} \dots 5 \cdot 10^{-2}$ м/с) спостерігається покращення експлуатаційних характеристик оптичних елементів:

- висота залишкових мікрошорсткостей на поверхні елементів зменшується від 30...40 нм до 0,5...1,2 нм, а максимальна товщина оплавлених шарів досягає 250...300 мкм;
- мікротвердість поверхні елементів збільшується у 1,3...1,7 разу, формуються зміцнені шари товщиною до 210...230 мкм;
- відбувається зміна структури шарів і їх гомогенізація, кремнекиснева сітка стає близькою до кварцового скла на глибину до 20...40 мкм;
- для елементів з оптичної кераміки відбувається помітна зміна структури по глибині до 200...250 мкм, збільшуються блоки мозаїки у 3,3...7,7 рази та зменшуються мікрореформації кристалічних ґраток у 3,7...5,9 рази;

2. Показано, що в результаті покращення фізико-механічних властивостей поверхневих шарів оптичних елементів після електронно-променевої обробки відбувається поліпшення таких характеристик: коефіцієнт світлорозсіювання зменшується на 10...30 %, а

Машинобудування і зварювальне виробництво

спектральний коефіцієнт пропускання ІЧ-випромінювання збільшується на 4...6 % для елементів з оптичного скла К8 і БК10, і на 5...7 % – для елементів з оптичних керамік КО1, КО і КО5, і не змінюється для оптичних керамік КО3, КО12.

Список використаних джерел:

1. Тепловые процессы при электронной обработке оптических материалов и эксплуатации изделий на их основе / В. А. Ващенко [и др.]. – Киев: Наукова думка, 2006. – 368 с.
2. Спеціальні методи обробки оптичного скла : навч. посібник / М. П. Бочок [та ін.]. – Чернігів : Чернігів. держ. технолог. ун-т, 2001. – 215 с.
3. Получение функциональных слоев в оптическом стекле и керамике методом электронной обработки / Г. Н. Дубровская [и др.] // Функциональные покрытия на стеклах Междунар. научно-практ. симпозиум : сб. докл. – Харьков, 2003. – С. 135–137.
4. Яценко, І. В. Дослідження залежностей енергетичних характеристик СЕП від його керованих параметрів при впливі на вироби мікрооптики і інтегральної оптики / І. В. Яценко // Труды Одесского политехнического института. – 2009. – Вып. 2 (32). – С. 143–149.
5. Основи електронної обробки виробів з оптичних матеріалів : монографія / В. А. Ващенко [та ін.]. – Київ : Наукова думка, 2011. – 562 с.
6. Influence of parameters by electronic ray on properties of superficial layers of optical elements of exact instrument-making / I. Yatsenko [et al.] // Innovations in discrete productions : International journal for science and innovations for the industry. – 2015. – Year III, N 3. – P. 13–15.
7. Упреждение возможных разрушений оптических обтекателей ИК-приборов в условиях выстрела и полета / И. В. Яценко [и др.] // Наноинженерия. – 2015. – № 12 (54). – С. 26–31.
8. Попередження можливих руйнувань оптичних елементів точного приладобудування в умовах зовнішніх термодій / І. В. Яценко [та ін.] // Журнал нано- та електронної фізики. – 2016. – Т. 8. – С. 01027–01032.
9. Визначення критичних значень параметрів електронного променя при поверхневу оплавленні оптичних елементів точного приладобудування / І. В. Яценко [та ін.] // Журн. нано- та електронної фізики. – 2017. – N 9 (1). – 01010. – С. [1–5].
10. Yatsenko, I. V. Experimental and statistical models of impact determination of the electron beam parameters on surface layers properties of optical elements in precision instruments building / I. V. Yatsenko // Pratsi Odes'kyi politechnichnyi universytet. – 2016. – N 1 (48). – P. 63–69.
11. Yatsenko, I. V. Influence Patterns of the Finishing Electron Beam Treatment of the Surface of Optical Parts on their Physical-mechanical Properties / I. V. Yatsenko // Journal of Multidisciplinary Engineering Science Studies (JMESS). – 2017. – N 3 (5). – P. 1764–1770.
12. Підвищення фізико-механічних параметрів елементів з оптичних керамік фінішною електронно-променевою обробкою / В. С. Антонюк [та ін.] // Сучасні технології в машинобудуванні : зб. наук. пр. / НТУУ «ХП». – Харків: 2016. – Вип. 11. – С. 74–86.
13. Збільшення вірогідності безвідмовної роботи ІЧ-приладів самонаведення та спостереження шляхом електронно-променевої обробки оптичних обтічників / І. В. Яценко [та ін.] // Журн. нано- та електронної фізики. – 2018. – 10 (4). – 04028. – С. [1–7].
14. Покращення техніко-експлуатаційних характеристик приладів з оптичними елементами шляхом збільшення їх коефіцієнта пропускання ІЧ-випромінювання / І. В. Яценко [та ін.] // Инженерия поверхности и реновации изделий : материалы 16 Междунар. научно-техн. конф. (Затока, 29–31 мая 2016 г). – Киев : АТМ України. – С. 185–187.

Машинобудування і зварювальне виробництво

15. Підвищення метрологічних характеристик та надійності приладів для вимірювання та теплового контролю об'єктів різної фізичної природи шляхом електронно-променевої обробки їх оптичних елементів / І. В. Яценко [та ін.] // Приладобудування та метрологія : сучасні проблеми, тенденції розвитку : матеріали II Міжнар. науково-техн. конф. (Луцьк, 6–7 жовтня 2016 р.). – Луцьк, 2016. – С. 100–101.

16. Окатов, М. А. Справочник оптика-технолога / М. А. Окатов, Э. А. Антонов, А. Б. Байгожин. – СПб. : Политехника, 2004. – 679 с.

17. Зверев, В. А. Оптические материалы : учеб. пособие для конструкторов оптических систем и приборов / В. А. Зверев, Е. В. Кривоустова, Т. В. Точилина. – СПб. : Изд-во СП НИИУИТМО, 2009. – 243 с.

18. Вильчинская, С. С. Оптические материалы и технологии / С. С. Вильчинская, В. М. Лисицын. – Томск : Изд. Томского политехн. ун-та, 2011. – 107 с.

Яценко И. В.

УЛУЧШЕНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ОПТИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННЫХ ПРИБОРОВ

Для предотвращения негативного влияния внешних термических воздействий на эксплуатационные характеристики оптических элементов опτικο-электронных приборов практическое значение имеет их финишная электронно-лучевая обработка, препятствующая возникновению дефектов на поверхности элементов (трещин, отслоений, наплывов, волнообразных участков и др.), приводящих к резкому ухудшению технико-эксплуатационных характеристик приборов и их отказам при эксплуатации. Целью работы является улучшение эксплуатационных характеристик оптических элементов опτικο-электронных приборов путем их финишной электронно-лучевой обработки. Проведены экспериментальные исследования и установлены оптимальные диапазоны изменения параметров электронного луча (плотности теплового воздействия $F_n = 7 \cdot 10^6 \dots 8 \cdot 10^8 \text{ Вт/м}^2$ и скорости перемещения $V = 5 \cdot 10^{-3} \dots 5 \cdot 10^{-2} \text{ м/с}$), в пределах которых наблюдается улучшение эксплуатационных характеристик поверхностных слоев деталей: площадь, занимаемая негативными дефектами на поверхности уменьшается в 1,8...2,7 раза и повышается ее чистота, сохраняется плоскостность; остаточные микронеровности уменьшаются от 30...40 нм до 0,5...1,2 нм; максимальная толщина оплавленных слоев достигает до 250...300 мкм; микротвердость поверхности увеличивается в 1,3...1,7 раза; возникают упрочненные слои толщиной 210...230 мкм. При этом происходит изменение структуры слоев и их гомогенизация, кремнекислородная сетка становится близкой к кварцевому стеклу. Это приводит к уменьшению коэффициента светорассеивания поверхностных слоев деталей и увеличению коэффициента пропускания ИК-излучения.

Ключевые слова: опτικο-электронные приборы, оптическое стекло, оптическая керамика, электронный луч, эксплуатационные характеристики.

Yatsenko I. V.

IMPROVING THE PERFORMANCE CHARACTERISTICS OF OPTICAL ELEMENTS OF OPTOELECTRONIC DEVICES

To prevent the negative influence of external thermal effects on the performance characteristics of optical elements of optoelectronic devices, their final electron-beam processing is of practical importance, preventing the appearance of defects on the surface of elements (cracks,

delaminations, incrustations, undulating areas, etc.) leading to a sharp deterioration technical and operational characteristics of devices and their failures during operation. The aim of the work is to improve the operational characteristics of optical elements of optoelectronic devices by their final electron-beam processing. Experimental researches are carried out and optimum ranges of change of parameters of an electron beam (density of thermal influence $F_n = 7 \cdot 10^6 \dots 8 \cdot 10^8 \text{ Wt/m}^2$ and speed of movement $V = 5 \cdot 10^{-3} \dots 5 \cdot 10^{-2} \text{ m/s}$), within which there is an improvement in the performance characteristics of the surface layers of elements: the area occupied by negative defects on the surface is reduced by 1,8...2,7 times and its purity is increased, flatness is maintained; the residual microroughnesses decrease from 30...40 nm to 0,5 ... 1,2 nm; the maximum thickness of the melted layers reaches up to 250...300 μm ; microhardness of the surface increases by 1,3...1,7 times; hardened layers with a thickness of 210...230 μm appear. This changes the structure of the layers and their homogenization, the silica-oxygen grid becomes close to the quartz glass. This leads to a decrease in the light scattering coefficient of the surface layers of elements and an increase in the transmittance of the IR radiation.

Keywords: *optoelectronic devices, optical glass, optical ceramics, electron beam, operational characteristics.*

Рецензент: д-р техн. наук, проф. В. В. Суглобов

Статья поступила 02.11.2018 р.

УДК 620.197-036

Ищенко А. А., Рассохин Д. А.

ИССЛЕДОВАНИЕ СТОЙКОСТИ ПОЛИМЕРНОГО МАТЕРИАЛА, ИСПОЛЬЗУЕМОГО ДЛЯ ЗАЩИТЫ ПОВЕРХНОСТЕЙ НАСОСОВ ОТ КАВИТАЦИИ

Рассмотрена технология восстановления рабочего колеса перекачивающего насоса. Определены условия его эксплуатации, срок службы, описан характер его износа. В качестве наиболее эффективного материала, сопротивляющегося усталостному нагружению, был применен материал группы металлополимеров. Прочностная способность включает в себя прочность металла и релаксационные свойства полимеров. Одним из таких материалов является отечественный металлокомпозит ДК-2.

Ключевые слова: *металлополимер, композит, рабочее колесо, перекачивающий насос*

Явление кавитации, совместно с процессом истирания взвешенными частицами, приводит к износу частей насосов и перекачивающего оборудования в целом. Это связано с тем, что процесс кавитации несет за собой развитие вибрации, повышение уровня шума, снижение КПД установки, в гидравлической системе происходит пульсация давления. Восстановление и ремонт оборудования, разрушенного кавитацией, требует значительных затрат труда и традиционными методами, осуществить такие ремонты зачастую, не представляется возможным.

Кафедрой МОЗЧМ ГВУЗ «ПГТУ» выполнены исследования процесса износа рабочего колеса перекачивающего насоса и его последующее восстановление (рис. 1).

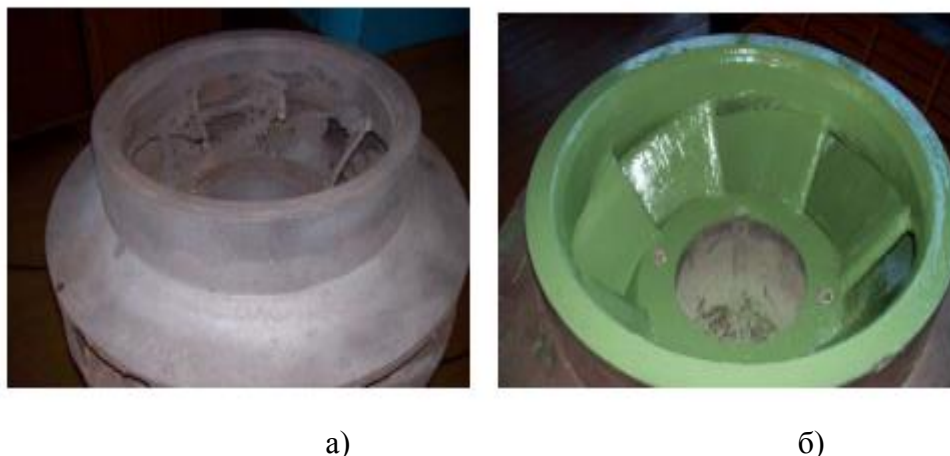


Рисунок 1 – Рабочее колесо перекачивающего насоса:
а) до восстановления, б) после восстановления

Колесо выполнено из серого чугуна и, по данным отработало около 20000 ч. Данное колесо имело значительные повреждения, вызванные комплексным воздействием кавитации и абразивным износом. В результате годичной работы колесо износилось настолько сильно, что оказалось непригодным для восстановления методом наплавки. Наиболее сильно изношенными оказались лопасти рабочего колеса. 8 из 10 лопастей имели одинаковый износ. Криволинейные участки лопастей сильно ущерблены. Вырывы металла в глубину и по ширине лопасти достигали 15-30 мм, площадь вырывов достигала 25 см². Износ двух лопастей отличался тем, что помимо вырывов металла наблюдается разрушение входной кромки. Учитывая одинаковые условия эксплуатации, такое различие можно объяснить неоднородностью металла.

Следует отметить, что давление, вызванное ударной волной при разрушении кавитационного пузыря может достигать 2000-3500 кг/см² [1]. Такое давление недостаточно для разрушения основного материала, однако при некоторых типах кавитации на площади в 1см² в течении 1 с. может образоваться более 30 млн. пузырьков [2]. Можно предположить, что в процесс разрушения поверхностного слоя особый вклад вносит повторяемость единичных ударов, а износ является следствием усталостных явлений. Анализ [3] показал, что промежуток времени между попаданием ударной волны в одну и ту же точку поверхности составляет около 30 с. Таким образом в процессе кавитационного разрушения принимают участие как усталостные явления, так и одиночные сильные удары.

Наиболее эффективным материалом, сопротивляющимся усталостному нагружению, являются материалы группы металлополимеров. Прочностная способность включает в себя прочность металла и релаксационные свойства полимеров. Одним из таких материалов является отечественный металлокомпозит ДК-2. Предложенный материал использовали для восстановления колеса. Данный материал позволил восстановить сложную геометрию лопаток. Следует отметить, что с учетом уровня разрушения поверхностей такую работу невозможно было бы выполнить методами наплавки.

Для создания математической модели, позволяющей спрогнозировать износ восстановленного слоя был проведен цикл экспериментов. Известно, что процесс кавитации представляет собой ударное нагружение вследствие схлопывания полости пузырька воздуха и развития им ударной волны. Такое нагружение было смоделировано с помощью ударной лабораторной установки (рис. 2).

Машинобудування і зварювальне виробництво

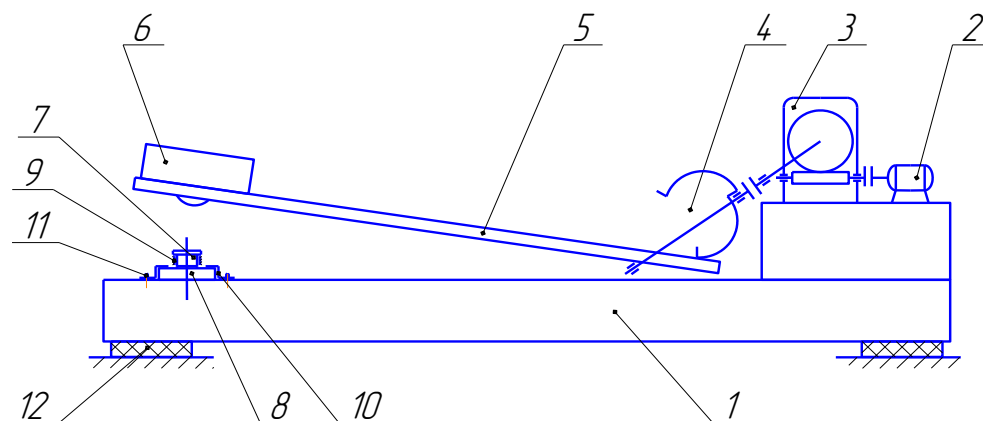


Рисунок 2 – Кинематическая схема экспериментальной установки

Установка состоит из станины 1, выполненной из плиты толщиной 250 мм, на которой установлены: электродвигатель 2, червячный редуктор 3 и кулачок 4, который при вращении опускает один конец коромысла 5, поднимая тем самым груз 6 на требуемую высоту. После дальнейшего поворота кулачка его профиль выходит из контакта с коромыслом и последнее под действием груза весом P с высоты H падает на боек 7, который в свою очередь, ударяет по образцу 8, закрепленному неподвижно на станине с помощью хомута 10 и болтов 11. Боек перемещается в направляющих 9, обеспечивающих соосное расположение бойка и образца, то есть центрирование удара относительно вертикальной оси образца.

Для оценки способности исследуемого материала сопротивляться ударному нагружению были разработаны образцы в виде цилиндрических образцов, с различной толщиной, но одинаковым диаметром. Толщина исследуемых образцов была выбрана из практических условий восстановления оборудования, а именно оптимальная толщина наносимого материала при восстановлении. Кроме того, были исследованы и способы закрепления образцов. Так, восстановленная поверхность может представлять собой свободную плоскость или некий объем, заключенный в основной поверхности детали. В качестве критерия при оценке прочности композитных материалов была выбрана величина конструкционного предела прочности материала, а в качестве критерия разрушения – момент появления трещины на боковой поверхности образцов, как достижения предельного состояния в локальном объеме.

Технологической особенностью материала ДК-2 является его жидкотекучесть, осложняющая восстановление вертикальных поверхностей. Для придания материалу требуемой консистенции предложено использовать гигроскопичный материал типа «Оросил». Однако его содержание в материале вносит изменение в механические характеристики смеси. В связи с этим было предложено исследовать влияние различного содержания «Оросила» в смеси при ударном нагружении. Учитывая, что разрушительное воздействие на лопасти насосов осуществляет не только процесс кавитации, а и материал, всасываемый насосом, создающий эффект истирания вследствие содержания небольших частиц песка, почвы и т.д., предложено было в контрольную группу образцов включить образец, содержащий частицы абразива, как элемента сопротивляющегося истиранию.

Исследуемые образцы были разделены на 4 группы:

- 1) чистый материал (Б.Н.);
- 2) материал с добавлением 15 % по массе «Оросила» (1);
- 3) материал с добавлением 30 % по массе «Оросила» (3);
- 4) материал с добавлением абразива (А).

Машинобудування і зварювальне виробництво

По результатам исследований было определено, что при статическом нагружении наибольшую стойкость показали образцы группы Б.Н. и А – 2400 кг. Динамическое нагружение образцов выполнялось с помощью ударной установки, учитывая, что ударное нагружение лопастей насоса, вследствие кавитационного нагружения, подразумевает повторяемость. По результатам проведенных испытаний получен график, описывающий скорость восстановления исследуемых образцов за единицу времени. Наибольшие значения показал образец Б.Н. рис. 3.

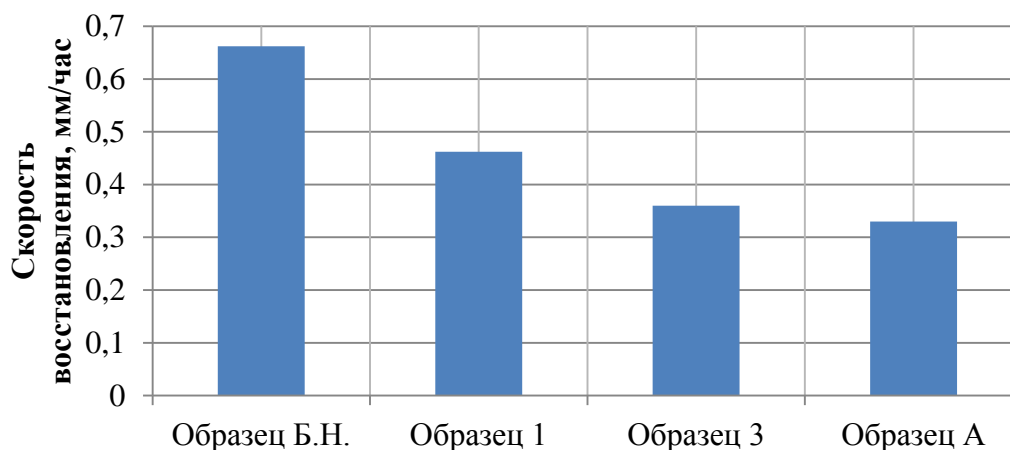
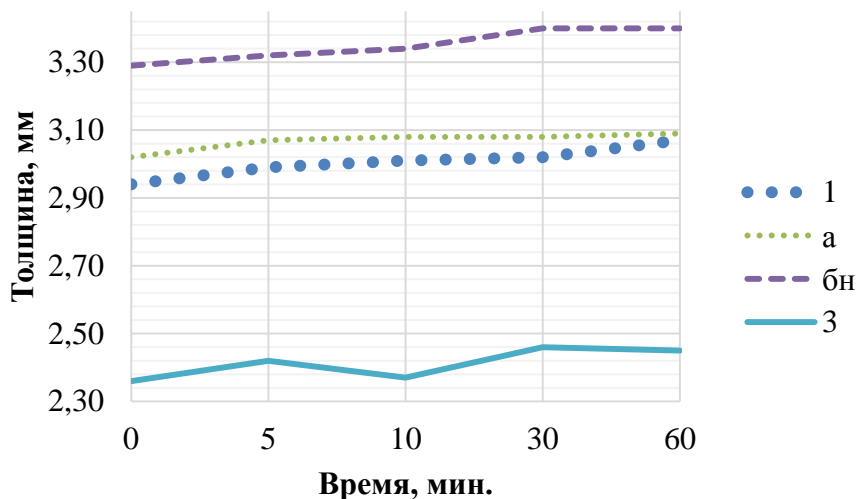


Рисунок 3 – График зависимости скорости восстановления исследуемых образцов от состава наполнителя

Кроме того, представляет интерес выявленный в процессе исследований процесс восстановления различных образцов после выполнения ударного нагружения, как в свободном так и в замкнутом состоянии. Установлено, что добавление «Оросила» увеличила осадку образца после нагружения: № 1 до 10 %, а для образца № 3 – на 30 %. Этот результат может быть эффективно использован при создании математической модели процесса. Кроме того, наиболее интенсивное восстановление образцов наблюдалось в течении первых 60 мин. При этом уровень восстановления толщины образца от первоначального для всех образцов практически одинаков (рис. 4).



Машинобудування і зварювальне виробництво

Рисунок 4 – Графік залежності зміни товщини зразків від часу
(після ударного навантаження)

Застосування «Оросила» як заповнювача підвищує жорсткість відновленого шару. Однак, у випадку, коли необхідно усунути надмірну текучість композиту, можливо застосування «Оросила» в кількості не більше 20 % від маси.

ВИВОД

В результаті проведення експериментів, встановлено, що додавання загущувача у вигляді «Оросила» дозволяє, з однієї сторони, знизити текучість композиту, а з іншої – збільшує його жорсткість. Визначено, що підвищена жорсткість не сприятиме активній протидії кавітаційному зносу і тому застосування «Оросила» обмежено кількістю не більше 20 % від маси.

Список використовуваних джерел

1. Кнэпп, Р. Кавітація : пер. з англ. / Р. Кнэпп, Дж. Дейли, Ф. Хэммит. – М. : Мир, 1974. – 687 с.
2. Степанов, Э. Дж. Кавітація в центробіжних насосах, перекачуючих рідини, інші рідини / Э. Дж. Степанов // Труды американского общества инженеров-механиков. Серия : Энергетическое машиностроение. – 1961. – № 1. – С. 98.
3. Степанов, Э. Дж. Кавітаційні властивості рідин / Э. Дж. Степанов // Труды американского общества инженеров-механиков. Серия : Энергетические машины и установки. – 1964. – № 2. – С. 122.
4. Карелин, В. Я. Кавітаційні явища в центробіжних і осевих насосах / В. Я. Карелин. – М. : Машгиз, 1963. – 210 с.

Іщенко А. О., Рассохін Д. О.

ДОСЛІДЖЕННЯ СТІЙКОСТІ ПОЛІМЕРНОЇ МАТЕРІАЛУ, ВИКОРИСТОВУВАНОГО ДЛЯ ЗАХИСТУ ПОВЕРХОНЬ НАСОСІВ ВІД КАВІТАЦІЇ

Розглянуто технологію відновлення робочого колеса перекачує насоса. Визначено умови його експлуатації, термін служби, описаний характер його зносу. Як найбільш ефективний матеріал, що чинить опір втомленню навантаженню, був застосований матеріал групи металополімерів. Характеристика міцності здатність включає в себе міцність металу і релаксаційні властивості полімерів. Одним з таких матеріалів є вітчизняний металокомпозит ДК-2. Запропонований матеріал використовували для відновлення колеса. Даний матеріал дозволив відновити складну геометрію лопаток. Слід зазначити, що з урахуванням рівня руйнування поверхонь таку роботу неможливо було виконати методами наплавлення. Крім того для створення математичної моделі, що дозволяє прогнозувати знос відновленого шару був проведений цикл експериментів. Відомо, що процес кавітації являє собою ударний навантаження внаслідок схлопування порожнини бульбашки повітря і розвитку їм ударної хвилі. Таке навантаження було змодельовано за допомогою ударної лабораторної установки. Для оцінки здатності досліджуваного матеріалу чинити опір ударному навантаженню були розроблені зразки у вигляді

Машинобудування і зварювальне виробництво

циліндричних зразків, з різною товщиною, але однаковим діаметром. Товщина досліджуваних зразків була обрана з практичних умов відновлення обладнання, а саме оптимальна товщина матеріалу, що наноситься при відновленні. Крім того, були досліджені і способи закріплення зразків. Так, відновлена поверхня може являти собою вільну площину або якийсь обсяг, укладений в основній поверхні деталі. Як критерій при оцінці міцності композитних матеріалів була вибрана величина конструкційного межі міцності матеріалу, а в якості критерію руйнування - момент появи тріщини на бічній поверхні зразків, як досягнення граничного стану в локальному обсязі.

Ключові слова: металополімер, композит, робоче колесо, перекачуючий насос

Ischenko A. A., Rassokhin D. A.

STUDY OF THE RESISTANCE OF POLYMER MATERIAL USED TO PROTECT CAVITATION SURFACES OF PUMPS FROM CAVITATION

The technology of restoring the impeller pumping pump is considered. The conditions of its operation, service life are determined, the nature of its wear is described. The material of the group of metal polymers was used as the most effective material resisting fatigue loading. Strength ability includes metal strength and relaxation properties of polymers. One of these materials is the domestic metal composite DK-2. The proposed material used to restore the wheels. This material allowed to restore the complex geometry of the blades. It should be noted that, taking into account the level of destruction of the surfaces, such work could not be performed using surfacing methods. In addition, a cycle of experiments was carried out to create a mathematical model that allows predicting the wear of the restored layer. It is known that the cavitation process is a shock loading due to the collapse of the air bubble cavity and the development of a shock wave by it. Such loading was modeled using a percussion laboratory setup. To assess the ability of the material under study to resist shock loading, samples were developed in the form of cylindrical samples with different thicknesses, but with the same diameter. The thickness of the studied samples was chosen from the practical conditions of the equipment restoration, namely the optimal thickness of the applied material during the restoration. In addition, the methods of fixing the samples were investigated. Thus, the reconstructed surface can be a free plane or a certain volume enclosed in the main surface of the part. As a criterion in assessing the strength of composite materials, the magnitude of the structural strength of the material was chosen, and as the criterion of fracture, the moment when a crack appeared on the lateral surface of the samples, as the ultimate state was reached in a local volume.

Keywords: metal polymer, composite, impeller, transfer pump

Рецензент: д-р техн. наук, професор В. В. Суглобов
Стаття поступила 27.10.2018

УДК 624

Коваленко А. С.¹, Годун Т. Н.²

НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ И ПОВРЕЖДАЕМОСТЬ ЭЛЕМЕНТОВ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Данная статья посвящена вопросу напряженно-деформированного состояния, повреждаемости элементов строительных конструкций и сооружений в целом. На сегодняшний день решить данную научно-техническую задачу, учитывая повреждения строительных конструкций происходящих при механических явлениях в следствии износа, усталости материала, коррозии, накопления пластических деформаций, развития усталостных трещин возможно путем введения феноменологических уравнений.

В статье проанализированы определения меры повреждаемости в конкретной точке конструкции как компонент вектора параметров, характеризующих работоспособность объекта. Имеющие комбинации при решении вопроса надежности, прочности кардинально зависят от изменения во времени внешних нагрузок, а также от параметров напряженно-деформированного состояния. Проведен анализ напряженно-деформированного состояния и повреждаемость элементов строительных конструкций в результате экспериментальных исследований. Рассмотрены и освещены методы схематизации случайных процессов (размахов, максимумов и полных циклов), которые характеризуют состояние конструкции. Анализ и обработка результатов их исследования приводит к значительному различию методов при расчете прочности и надежности. Для описания мер повреждений в зависимости от вида нагружений, определены и записаны феноменологические уравнения для меры повреждений зависящих от времени и числа циклов до разрушения при регулярном режиме нагружения.

Ключевые слова: повреждение, строительные конструкций, износ, усталостные трещины, коррозия, напряженно-деформированное состояние, элемент, техническое обследование, метод схематизации, мера повреждаемости, ресурс, надежность.

В настоящее время большое значение имеет вопрос изучения повреждений строительных конструкций в условиях эксплуатации. Обеспечение безопасной эксплуатации является актуальной задачей, которая решается комплексом мероприятий. На сегодняшний день найти решение данной научно-технической задачи, учитывая повреждения строительных конструкций в результате износа, усталости материала, коррозии, накопления пластических деформаций, развития усталостных трещин возможно путем введения феноменологических уравнений.

Зачастую при техническом обследовании зданий и сооружений возникает необходимость в исследовании и анализе напряженно-деформированного состояния конструкций и сооружения в целом. Анализируя повреждения видно, что конструкции в целом находятся в удовлетворительном состоянии, при этом состояние многих несущих конструкций оценено как аварийное. Указанные действия служат источником накопления повреждений, данные явления можно описать ранее изложенные в теории прочности полуэмпирических моделей (феноменологических уравнений). Для таких моделей вводится понятие [1] скалярной меры повреждений $Z(t)$ в определенной точке конструкции, которая принимает значения на отрезке $[0, Z_x]$. Значение $Z=0$ соответствует отсутствию повреждений, а $Z=Z_x$ - отказу конструкции.

¹ канд. тех. наук, доц., ГВУЗ «Приазовский государственный технический университет», г. Мариуполь

² ст. преподаватель, ГВУЗ «Приазовский государственный технический университет», г. Мариуполь

Значение $t=t_x$, когда соответствует моменту отказа. Уравнение (1) служит для определения времени до разрушения конструкции t_x .

$$Z(t_x) = Z_x \quad (1)$$

В некоторых случаях мера повреждений $Z(t)$ имеет наглядный физический смысл. В качестве примера можно рассматривать длину усталостной трещины, когда Z_x будет представлять критическую длину трещины, при которой происходит внезапное разрушение. Довольно часто вводимая мера повреждений не имеет наглядного физического истолкования, и ее стараются выбирать таким образом, чтобы $Z_x = 1$.

Процесс накопления повреждений называется кумулятивным, если выполняется условие при $t_2 \geq t_1$:

$$Z(t_2) \geq Z(t_1) \quad (2)$$

Введенные понятия позволяют рассматривать меру повреждений в определенной точке конструкций как компоненту вектора параметров, характеризующих работоспособность объекта, $Z(t)$.

При повторно-переменных нагрузках происходит повреждение строительных конструкций, в дальнейшем приводящих к усталости материала. Усталость считается действительно сложным явлением. Данное явление приводит к накоплению дефектов (повреждений) под действием повторных напряжений, которые приводят к образованию трещин и в дальнейшем к разрушению конструкции. Появлению усталостных трещин предшествуют микротрещины, их плотность превышает критическую. Усталостное разрушение излагается последовательностью следующих действий:

- первичные повреждения и их накопления;
- образование микротрещин, при последующем слияния в макротрещины;
- разрастание усталостных трещин;
- дальнейшее воздействие значительных нагрузок (статический долом).

Действие каждого вышеупомянутого процесса усталостного разрушения определяется характером внешних нагружений, их изменение во времени и повреждаемостью материала.

Различают циклы повторно-переменного нагружения (рис. 1). Большая часть работает при знакопеременном нагружении.

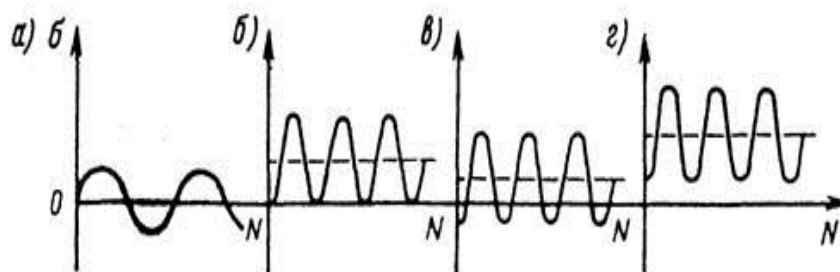


Рисунок 1 – Типичные циклы повторно-переменного нагружения:
 а – симметричный; б – пульсирующий; в – асимметричный знакопеременный;
 г – асимметричный знакопостоянный

При решении вопроса расчета ресурса прочности и надежности, существуют следующие варианты для решения данных задач, которые зависят от характера внешних

нагрузок с учетом времени и параметров напряженно-деформированного состояния (НДС), классификация которых показана на рис. 2.

Характер изменения нагрузок во времени, возможно, разделить на два варианта: регулярный и нерегулярный [2]. Понятие регулярного нагружения - это нагружение, характеризующееся периодическим законом изменения, с учетом постоянства характеристик цикла параметров НДС в течение всего времени испытаний или эксплуатации. Все без исключения разновидности нагружений, никак не удовлетворяющие данному определению, называются нерегулярными. На практике регулярное нагружение встречается очень редко. Характер изменения параметров НДС $Y(t)$ в случае регулярного нагружения, при этом параметры цикла Y_a (амплитуда) и Y_m (среднее значение) могут быть детерминированными или случайными величинами.



Рисунок 2 – Характер изменения нагрузок во времени

В основном происходит блочное или случайное нагружение, при этом блочное нагружение - это совокупность последовательных значений параметров НДС, образующих в элементах металлоконструкций (ЭМК) за некоторый период эксплуатации. А регулярное нагружение возможно рассмотреть как частный случай нерегулярного нагружения с учетом $i = 1$.

$$Y_i = \{ Y_{ai}, Y_{mi}, n_i \} \tag{3}$$

Поэтому в дальнейшем при расчете ресурса, прочности и надежности регулярное нагружение отдельно рассматриваться не будет, а в качестве исходных данных при нерегулярном блочном нагружении будут использоваться такие характеристики блока, представляющие компоненты вектора Y_i , которые, в свою очередь, образуют вектор Y , определяющий скорость накопления повреждений.

На рис. 3 изображен характер изменения параметров НДС при случайном нагружении ($Y_a(t)$, $Y_m(t)$ – стационарные случайные функции). Если случайный процесс $Y(t)$ является узкополосным, то амплитуда $Y_a(t)$ имеет ясный смысл, и плотность вероятности распределения амплитуд $f(Y_a)$, являющейся основной характеристикой при расчете ресурса и надежности, можно определить по плотности вероятности процесса $Y(t)$. Если $Y(t)$ является стационарным нормальным узкополосным процессом, то $f(Y_a)$ является релеевской плотностью вероятности [2].

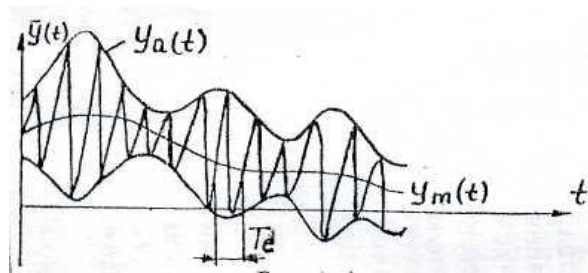


Рисунок 3 – Изменения параметров НДС при случайном нагружении

Амплитуды для широкополосного случайного процесса можно определять различными методами. При этом существует огромное количество так называемых способов схематизации случайных процессов, в задаче которых предназначено получить плотности вероятности амплитуд параметров НДС регулярного нагружения, эквивалентных случайному процессу с учетом степени вносимого повреждения.

При решении задач оценки ресурса и надежности ЭМК, находящихся под действием нерегулярных случайных нагрузок, случайный процесс $Y(t) = \sigma(t)$, описывающий изменение напряжений в конструкции, заменяется некоторым схематизированным гармоническим процессом со случайной амплитудой σ_a и числом циклов n . Плотность вероятности амплитуд - σ_a может быть найдена двумя способами:

1. Подсчет числа амплитуд различных уровней, выделяемых определенным методом.
2. Использование математического аппарата с учетом теории случайных функций.

Среди наиболее известных методов схематизации, относящихся к первому способу, рассмотрим методы максимумов, размахов и полных циклов. Применение различных методов приводит к существенному различию при расчете ресурса и надежности [1].

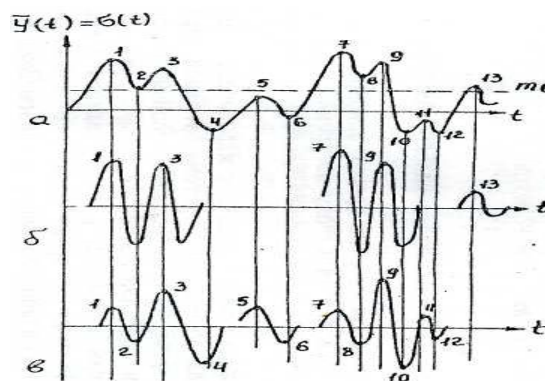


Рисунок 4 – Схематизация случайных процессов:
 а – метод максимумов (реализация исходного процесса);
 б – метод максимумов (после схематизации); в – метод размахов

Метод максимумов. На рис. 4 показана реализация исходного процесса (а) и после схематизации (б). Сначала определяем среднее значение процесса $\sigma(t)$ (рис. 4, а) как среднеарифметическое значение $\sigma_i = \sigma(t_i)$:

$$\bar{m}_\sigma = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \sigma_i \quad (4)$$

где n – общее количество точек по оси абсцисс;
 σ_i - значение процесса $\sigma(t)$ в i -той точке

В качестве амплитуд σ_{ai} выбираем разность между максимумами процесса $\sigma_{max i}$ и средним значением процесса m_σ , причем учитываем только те максимумы, для которых выполняется условие $\sigma_{max i} > m_\sigma$ (рис. 4,б), т.е.

$$\sigma_{ai} = \sigma_{max i} - m_\sigma \quad (5)$$

Если амплитуды σ_{ai} расположить в возрастающем порядке, то получим вариационный ряд распределения амплитуд, из которого путем статистической обработки может быть найдена плотность вероятности амплитуд, необходимая для расчета ресурса и надежности. В методе максимумов предполагается, что распределение минимумов и максимумов симметрично относительно среднего значения m_σ . Очевидно, что схематизированный таким образом процесс будет более повреждаемым, чем исходный. Число зарегистрированных амплитуд определяет общее число циклов n .

Метод размахов характеризуется выбором амплитуды, которая представляет абсолютную разность между двумя последовательными экстремумами и определяется по формуле:

$$\sigma_{ai} = \frac{(\sigma_{max i} - \sigma_{min i})}{2} \quad (6)$$

При рассмотрении данного метода предположим, что распределение восходящих и нисходящих размахов одинаково. Помимо этого, возможно пренебречь влиянием средних напряжений. Метод размахов дает возможность схематизации процесса, обладающего меньшим повреждающим действием, чем реальный процесс. При методе размахов расчетные оценки ресурса обычно превышают фактические ресурсы, что считается недостатком данного метода. Учитывая количество зарегистрированных размахов (нисходящих) дает общее число циклов n .

Метод полных циклов предоставляет оптимальное соотношение повреждающего действия между схематизированным и случайным процессом по сравнению с другими методами. В качестве амплитуды σ_{ai} принимают между двумя соседними экстремумами, как и в методе размахов, половину приращений процесса. При анализе данного метода вначале выделяем циклы с наименьшим размахом, заштрихованные на рис. 5, а, и определяем их число n , затем исключаем указанные размахи из рассмотрения. В следствии приходим к следующему процессу, который изображен на рис. 5, б. В этом процессе отмечаем также циклы с наименьшим размахом (заштрихованы на рис. 6, б) и их число n . Продолжая указанный процесс до получения реализации (рис. 5, в), получаем амплитуды σ_{ai} и число повторений этих амплитуд n_i , которые являются исходными для построения плотности вероятности амплитуд. Общее количество циклов $n = \sum n_i$.

Из этого следует, что метод размахов отличается от метода полных циклов. В методе полных циклов не выпадают из рассмотрения большие размахи, внутри которых имеются размахи меньшей величины. Как правило, данный метод приводит к расчетным оценкам ресурса, занимающих промежуточное значение между оценками, полученными с использованием методов максимумов и размахов.

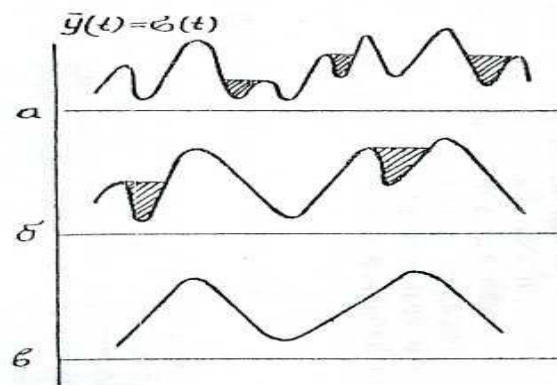


Рисунок 5 – Метод полных циклов

Феноменологические уравнения для описания мер повреждений. В зависимости от вида внешнего нагружения будем различать непрерывное и дискретное время. В последнем случае оно измеряется в циклах или блоках. Предположим, что приращение меры повреждений $Z(t)$ на малом отрезке времени $[t, t+\Delta t]$ зависит от значения меры повреждения в начале отрезка $Z(t)$, векторов параметров НДС $V(t)$ и характеристик конструкционной прочности $R(t)$ на рассматриваемом отрезке. Запишем феноменологические уравнения для меры повреждений:

Полагая в полученных соотношениях $Z(t) = Z_n = Z_x - 1$, получаем соотношения для определения времени и числа циклов до разрушения t_x и n_x , при $V(t) = V_i - const$ получим:

$$t_x = T_B[Y, R] \quad (7)$$

$$n_x = N_B[Y, R] \quad (8)$$

Таким образом, величины T_B и N_B представляют соответственно время и число циклов до разрушения при регулярном ($Y - const$) режиме нагружения. Полученные зависимости (7) и (8) называются базовыми и определяются экспериментально на основе специальных испытаний, которые проводятся в зависимости от конкретной физической модели отказа при ($Y - const$) на специальных образцах.

ВЫВОДЫ

1. Вопрос изучения повреждений строительных конструкций в условиях эксплуатации в настоящее время является актуальным. Зачастую при техническом обследовании зданий (сооружений) возникает необходимость в исследовании и анализе напряженно-деформированного состояния конструкций. Указанные действия служат источником накопления повреждений, данные явления можно описать ранее изложенные в теории прочности полуэмпирических моделей (феноменологических уравнений).
2. Предложена классификация внешних нагрузок и параметров напряженно-деформированного состояния, введены определения, которые позволяют оценивать меру повреждений в определенной точке конструкции.
3. Рассмотрены и освещены методы схематизации случайных процессов (размахов, максимумов и полных циклов), которые характеризуют состояние конструкции

Список использованных источников:

1. *Приймаков, А. Г.* Теория износоконтактной выносливости и ее применение в машиностроении / *А. Г. Приймаков, Ю. А. Градыский.* – Харьков : Оберіг, 2009. – 235 с.
2. *Коваленко, А. С.* Напряженно-деформированное состояние и повреждаемость элементов конструкций при постепенных отказах / *А. С. Коваленко* // *Захист металургійних машин від поломок: зб. наук. праць / ПДТУ.* – Маріуполь, 2010. – Вип. 12. – С. 40–46.
3. *Агапов, В. П.* Метод конечных элементов в статике, динамике и устойчивости конструкций / *В. П. Агапов.* – М. : АСВ, 2004. – 248 с.
4. *Кліменко, В. З.* Випробування конструкцій, обстеження та моніторинг будівель і споруд / *В. З. Кліменко, І. Д. Бєлов.* – Київ, Вид-во Кондор, 2015. – 572 с.
5. *Корольов, В. П.* Проблеми ресурсу і технологічної безпеки металевих конструкцій у корозійних середовищах. Розробки і практичний досвід менеджменту надійності будівельних об'єктів / *В. П. Корольов.* – Маріуполь: ПДТУ, 2015. – 74 с.

Kovalenko A., Godun T.

THE INTENSE-DEFORMED CONDITION AND DAMAGEABILITY OF ELEMENTS OF BUILDING CONSTRUCTIONS

This article is devoted to a question of the intense deformed state, damageability of elements of building constructions and constructions in general. Today to solve this scientific and technical problem, considering damages of building constructions of the resulting irreversible mechanical or physicommechanical phenomena to material as a result of fatigue, wear, accumulation of plastic deformations, development of fatigue cracks, corrosion it is possible by introduction of the phenomenological equations.

In article concepts damageability measures in a certain point of a design as a component of a vector of the parameters characterizing operability of an object are considered. The existing approaches for the solution of problems of calculation of a resource, durability and reliability significantly depend on the nature of change in time of external loadings and, respectively, parameters of the intense deformed state. By results of pilot studies the intense deformed condition and damageability of elements of designs at creeping failures is analyzed. Methods of a schematization of accidental processes (methods of maxima, razmakh and full cycles) of the designs defining a state are stated and considered, their processing and the analysis of results of a research results in essential distinction of methods when calculating a resource and reliability. For the description of measures of damages depending on a type of loadings, the phenomenological equations for a measure of damages time-dependent and numbers of cycles before destruction are defined and written down at the regular mode of loading.

Keywords: *damage, construction designs, wear, fatigue cracks, corrosion, the intense deformed state, an element, technical inspection, a schematization method, a damageability measure, a resource, reliability.*

НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНИЙ СТАН І ПОШКОДЖЕНІСТЬ ЕЛЕМЕНТІВ БУДІВЕЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ

Дана стаття присвячена питанню напружено-деформованого стану, пошкоджуваності елементів будівельних конструкцій і споруд в цілому. На сьогоднішній день вирішити дану науково-технічну задачу, враховуючи пошкодження будівельних конструкцій, які відбуваються в результаті незворотних механічних або фізико-механічних явищ в матеріалі в результаті втоми, зносу, накопичення пластичних деформацій, розвитку втомних тріщин, корозії можливо шляхом введення феноменологічних рівнянь.

У статті розглянуті поняття заходи пошкоджуваності в певній точці конструкції як компонент вектора параметрів, що характеризують працездатність об'єкта. Існуючі підходи для вирішення задач розрахунку ресурсу, міцності і надійності істотно залежать від характеру зміни в часі зовнішніх навантажень і, відповідно, параметрів напружено-деформованого стану. За результатами експериментальних досліджень проаналізовано напружено-деформований стан і пошкоджуваність елементів конструкцій при поступових відмовах. Викладено і розглянуті методи схематизації випадкових процесів (методи максимумів, розмахів і повних циклів) які визначають стан конструкцій, їх обробка та аналіз результатів дослідження призводить до суттєвого розходження методів при розрахунку ресурсу і надійності. Для опису заходів пошкоджень в залежності від виду навантажень, визначені й записані феноменологічні рівняння для міри пошкодженості залежних від часу і числа циклів до руйнування при регулярному режимі навантаження.

Ключові слова: *пошкодження, будівельні конструкції, знос, втомні тріщини, корозія, напружено-деформований стан, елемент, технічне обстеження, метод схематизації, міра пошкоджуваності, ресурс, надійність.*

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Андилахай А. А.

Стаття постуила 10.10.2018 р.

УДК 537.8:534-8

Бондаренко И. С., Аврунин О. Г., Бондаренко С. И., Кревсун А. В., Сорочан Е. Н.

ОПЫТ И ПЕРСПЕКТИВЫ ИССЛЕДОВАНИЯ СОВМЕСТНОГО ДЕЙСТВИЯ МАГНИТНОГО ПОЛЯ И АКУСТИЧЕСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА МОДЕЛЬНЫЕ И РЕАЛЬНЫЕ БИОЛОГИЧЕСКИЕ ОБЪЕКТЫ

Значение электрического поля было измерено в электропроводящем водном растворе с NaCl, возникающем при одновременном воздействии на него ультразвука и прямого магнитного поля. Предложены и разработаны основные подходы и схема лабораторного устройства. Основные характеристики ультразвукового излучения в месте измерения электрического поля определяются исходя из его значения и экспериментальных параметров установки. Обсуждается возможность использования измерений электрического поля для изучения свойств биологической ткани. Выполнен анализ современных исследований и публикаций на тему совместного воздействия магнитного поля и ультразвука для обнаружения магнитных наночастиц в биологической среде.

Ключевые слова: *ультразвук, магнитное поле, наночастицы.*

Введение

Воздействие только магнитного поля (МП) или только ультразвука (УЗ) на биологическую среду (БС) изучается и применяется в медицине уже многие десятилетия [1, 2, 3, 4]. Используемые параметры МП различаются по величине, пространственной однородности, направлению относительно биологического объекта, временным характеристикам. В частности, величина индукции постоянного МП (ПМП) достигает 1-3 Тесла. Применяются ПМП с высокой пространственной однородностью и, наоборот, с высокой степенью неоднородности, т.е. с высоким градиентом. Векторный характер ПМП позволяет создавать системы его генерации и измерения во всех трех координатных направлениях. Широко применяются, кроме ПМП, также переменное и импульсное МП.

Частотный диапазон переменного МП простирается от инфранизких частот (0,01-10 Гц) до сверхвысоких частот (СВЧ) и даже до частот света и рентгена. МП с различными параметрами используется в диагностических и лечебных целях. УЗ используется в диагностике заболеваний, их терапии и в хирургии. Излучаемая мощность медицинских генераторов УЗ находится в диапазоне 10^{-5} - 10^5 Вт / м², а частота излучения в диапазоне $2 \cdot 10^4$ - 10^9 Гц.

Применение как ПМП, так и УЗ в биомедицинских технологиях характеризуются такими общими для них преимуществами по сравнению с высокочастотным электромагнитным полем и инвазивным применением электрического тока, как безопасность воздействия, бесконтактность (дистанционность) и большая глубина проникновения в БС.

Известны, например, медицинские системы для дистанционного управления хирургическим инструментом с помощью силового постоянного магнитного поля около 2 Тл, создаваемого сверхпроводящими катушками [5,6,7,8].

Расчетные соотношения

Поступательное перемещение заряженных частиц с некоторой скоростью (v) в постоянном магнитном поле (ПМП) с индукцией B вызывает появление в пространстве электрического поля (E). Вектор E направлен под некоторым углом к направлениям векторов скорости и магнитного поля [9]. Магнитогидродинамические (МГД) генераторы электрической энергии построены, в частности, на основе этого закона. Величина и

направление вектора напряженности постоянного электрического поля, в этом случае, определяется формулой векторного произведения:

$$E = v \times B \quad (1)$$

Скалярное произведение скорости и индукции магнитного поля определяют величину напряженности электрического поля, если векторы скорости и индукции взаимно перпендикулярны:

$$E = v \cdot B \quad (2)$$

Особенности перемещения заряженных частиц с переменной по величине и направлению скорости изучаются в данной работе. В частности, такое коллективное перемещение могут совершать ионы проводящей жидкости под действием волны ультразвукового излучения (УЗИ). Биологическая среда (БС) является в основном электропроводящей жидкостью. Периодическое высокочастотное сжатие и расширение жидкости под действием УЗ можно рассматривать как один из нетривиальных способов бесконтактного перемещения электропроводящей среды. Преимущество УЗ по сравнению с электромагнитным излучением есть его более слабое затухание на расстояниях, сопоставимых с размерами человеческого тела. Экспериментальные исследования необходимы для определения, возникающего под действием УЗ электрического поля. Как известно из физики [10], УЗ малых и средних частот в материальной среде (газ, жидкость, твердое тело) распространяется в направлении излучения в основном в виде плоских волн расширения и сжатия.

Длина волны УЗ определяется формулой:

$$\lambda = \frac{c}{f} \quad (3)$$

Плотность БС близка к плотности воды, где скорость звука составляет около 1500 м/с. Каждая частица среды перемещается на расстояние x вдоль направления излучения по гармоническому закону:

$$x = A \cdot \sin(2\pi ft) \quad (4)$$

где A и t есть амплитуда колебаний частиц и время.

Колебательная скорость (v) частиц равна:

$$v = \frac{dx}{dt} = 2A\pi ft \cos(\pi ft) \quad (5)$$

Амплитуда колебательной скорости равна:

$$v_m = 2\pi f A \quad (6)$$

Величина v_m может быть найдена из известных соотношений теории [11] акустики:

Біоінженерія

$$I_s = \frac{Pv_m}{2} = \frac{P^2}{2c\rho} \quad (7)$$

где I_s есть интенсивность УЗ, P есть звуковое давление на частицы среды, ρ есть плотность среды.

Из (7) следует, что

$$v_m = \frac{P}{c\rho} \quad (8)$$

Величина $(c\rho)$ имеет название удельного акустического сопротивления среды.

Из соотношений (7) и (8) следует:

$$v_m = \left[\frac{2I_s}{c\rho} \right]^{0.5} \quad (9)$$

Из (6) и (9) для A получаем:

$$A = \frac{[2I_s/(c\rho)]^{0.5}}{2\pi f} \quad (10)$$

Из формулы (2) для E и формулы (9) для v_m получаем формулу для максимальной амплитуды (E_m) напряженности электрического поля в среде:

$$E_m = \left[\frac{2I_s}{c\rho} \right]^{0.5} \cdot B \quad (11)$$

Измерение величины напряженности электрического поля обычно выполняется с помощью измерения разности потенциалов на двух электрических зондах. Эти зонды располагают в исследуемой среде в области распространения акустической волны.

Принципиальная схема расположения зондов показана на рис. 1.

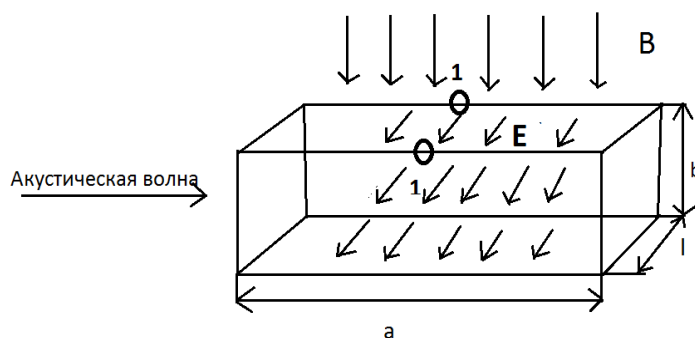


Рисунок 1 – Основная схема наблюдения МГД - эффекта на участке БС с размерами $a \times l \times b$, 1-1 – точки установки электрических зондов для измерения разности потенциалов на расстоянии l друг от друга.

E – напряженность электрического поля, B – индукция внешнего магнитного поля

Размер участка БС вдоль направления акустической волны должен быть меньше половины длины волны, чтобы обеспечить перемещения всего участка БС с частотой УЗ. Это обеспечивается выбором частоты УЗ. Например, для участка с размером в 1 см длину волны можно выбрать равной 6 см. При этом частота УЗ равна 25 кГц.

Величина амплитуды (U_m) переменного напряжения на зондах определяется по формуле:

$$U_m = E_m l = \left[\frac{2I_s}{c\rho} \right]^{0,5} B \cdot l \quad (12)$$

Формула (12) позволяет вычислить величину E_m по измеренному значению V_m и известному значению (l) расстояния (базы) между зондами.

Постановка эксперимента

Устройство для проведения экспериментов показано на рис. 2.

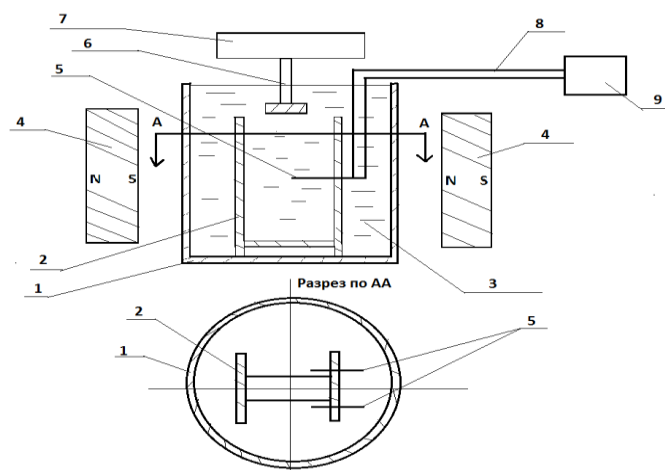


Рисунок 2 – Схема измерительного устройства:

- 1 – медный стакан, 2 – пластины для крепления электрических зондов, 3 – раствор NaCl,
- 4 – постоянный магнит, 5 – электрические зонды, 6 – звукопровод источника УЗИ,
- 7 – генератор УЗИ, 8 – провода от зондов к вольтметру, 9 – селективный микровольтметр

Слабый (1 %) водный раствор поваренной соли (3) с электропроводностью, близкой к электропроводности БС, использовался в качестве модельного образца. Раствор находился в медном стакане (1) с внутренним диаметром около 20 мм и с высотой около 70 мм. Две вспомогательные пластины (2) из органического стекла с зазором между ними в 2 мм располагались вдоль оси стакана. Два электрических проволочных зонда (5) с расстоянием (базой) $l = 10$ мм между ними (положение зондов хорошо видно на проекции разреза А-А стакана и пластин) были закреплены в одну из пластин. Зонды служат для измерения разности переменного потенциала, возникающего в растворе под действием переменного электрического поля с напряженностью E . Металлический звукопровод (6) генератора УЗИ (7) вводился в верхнюю часть стакана. Отечественный ультразвуковой диспергатор УЗДН-2Т с частотой УЗИ $f = 22$ кГц использовался в качестве генератора.

Измерение разности потенциалов U производилась с помощью селективного микровольтметра переменного напряжения В 6-9 (9). Постоянное магнитное поле с индукцией 0,4 Т создавалось в центральной области стакана с помощью двух постоянных

магнитов (4). Поле было направлено перпендикулярно направлению УЗИ, т.е. поперек вертикальной оси стакана с раствором. Таким образом, направление вектора E совпадало с направлением базы 1 зондов, что требуется в соответствии с (1) для получения максимального значения E . Интенсивность (мощность) I_s акустического излучения менялась от нуля до максимального значения на уровне 3×10^{-2} Вт/см² и производились измерения напряжения U с помощью микровольтметра .

Внешний вид измерительной установки показан на рис. 3 а.

Фотография медного цилиндра, выполняющего роль защищающего от внешних помех электромагнитного экрана, внутри которого располагаются электрические зонды, представлена на рис. 3 б.



а)



б)



с)

Рисунок 3 – а) Внешний вид измерительной установки;
б) Внешний вид медного стакана с установленными внутри него зондами и соединительным кабелем; с) Фотография двух постоянных магнитов Nd-Fe-B с элементами их крепления

Выходящий из экрана радиочастотным кабель для соединения зондов с измерительными приборами также виден.

Фотография двух постоянных магнитов, закрепленных друг относительно друга латунными шпильками, обеспечивающими требуемый зазор между магнитами показана рис. 3 с.

Зазор между ними (около 20 мм) служит для установки в нем медного стакана с раствором. Величина зазора соответствует диаметру медного стакана.

Результаты измерений и их обсуждение

Измерения показали, что МГД - эффект хорошо наблюдается в модельном образце БС. Амплитуда переменного напряжения на зондах на частоте УЗИ составила $U_{\max} \approx 50$ микровольт при выходной интенсивности УЗИ диспергатора $I_R \approx 3 \times 10^{-2}$ Вт/см². Соответствующее значение переменного электрического поля составило $E_{\max} = 5 \times 10^{-3}$ В/м. Величина напряжения зависит от угловой ориентации базы зондов по отношению к направлению ПМП. Напряжение имеет максимальное значение при взаимно перпендикулярном положении базы и направления вектора ПМП, а при параллельном – обращается в нуль. Это в точности соответствует векторному произведению (1). Максимальную интенсивность УЗИ (I_z) в области расположения зондов можно оценить по величине наблюдаемого напряжения на основании полученной нами ранее [10] формулы:

$$I_z = \frac{U_{\max}^2 \cdot \rho \cdot c}{(2B^2 \cdot l^2)} \quad (13)$$

где в качестве приближенных значений (ρ с) были взяты плотность воды и скорость звука в воде. Для параметров нашей установки из формулы (13) получаем: $I_z \approx 10^{-2}$ Вт/см². Значения максимальной скорости (v_{\max}) и амплитуды (А) перемещения ионов раствора, а также давления (Р) акустической волны могут быть получены с помощью формул (2, 9, 10, 7, 13) на основании измеренного значения электрического напряжения U_m .

Эти значения представлены в Таблице 1.

Таблица 1. Значения параметров

F (кГц)	B (Т)	l (м)	U_{\max} (В)	E_{\max} (В/м)	V_{\max} (м/с)	A (м)	I_z (Вт/м ²)	P_{\max} (Па)	(ρ с) (кг/м ² с)
22	0,4	10^{-2}	5×10^{-5}	5×10^{-3}	10^{-2}	10^{-7}	180	2×10^4	$1,5 \times 10^6$

Интенсивности УЗ в области расположения зондов ($I_z \approx 10^{-2}$ Вт/см²) меньше, чем интенсивность УЗ генератора ($I_R \approx 3 \times 10^{-2}$ Вт/см²). Это можно объяснить неоптимальным расположением зондов по отношению к максимуму стоячей звуковой волны, существующей в стакане. Определение оптимального расположения зондов относительно волны УЗ будет выполнено в следующих экспериментах.

Совместное действие МП и УЗ для обнаружения магнитных наночастиц в БС.

Свойства наночастиц в БС.

В настоящее время изучается транспорт и биологическое действие наночастиц как естественного биологического так и искусственного происхождения. К первым, в частности, относятся эритроциты крови и липосомы (Рис. 4) [12].

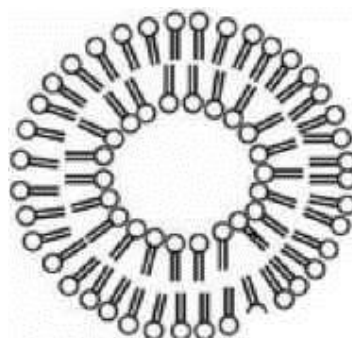


Рисунок 4 – Схематичное строение липосомы, состоящей из одного бислоя фосфолипидов [12]

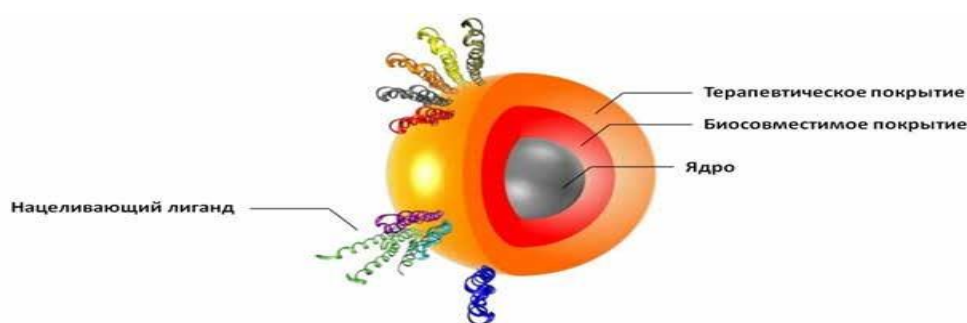


Рисунок 5 – Схема многослойной наночастицы оксида железа, содержащей терапевтический агент [15]

Ко вторым относятся магнитные и немагнитные наночастицы. В частности, к немагнитным относятся наночастицы серебра, меди и некоторых других химических элементов [13, 14]. Магнитные наночастицы (МНЧ) используются для биологических исследований в двух разновидностях: без покрытий и с покрытиями. В последнем случае (Рис. 5) покрытия состоят из оболочки лекарственного (терапевтического) средства и защитной оболочки [15, 16]. МНЧ без покрытия обладают сами по себе лечебными свойствами [17, 18]. Основное количество используемых МНЧ содержит в качестве магнитной основы окисел железа (Fe_3O_4), называемый магнетитом. Это наиболее распространенное в природе соединение железа. Широкое распространение в биомедицинской практике работ с МНЧ это соединение получило благодаря практически отсутствующим вредным воздействиям на человеческий организм. Размер применяемых МНЧ составляет от десятков нанометра ($1 \text{ нм} = 10^{-9} \text{ м} = 10 \text{ ангстрем}$) до сотен нанометров. Эти размеры сопоставимы с молекулярными размерами БС и клеточных органелл. Считается допустимым, чтобы концентрация МНЧ в исследуемой БС не превышала по объему 5 %. При использовании МНЧ во внешнем магнитном поле (B) важную роль играет их удельная намагниченность (J). Она характеризуется величиной магнитного момента (M) каждой из МНЧ. Магнитный момент одной МНЧ равен:

$$M = V \times J \quad (14)$$

где V - объем частицы.

Величина **J** зависит от материала МНЧ и ее магнитного состояния. Во многих случаях получают МНЧ в магнитном состоянии, называемом однодоменным. Во внешнем однородном ПМП вектор магнитного момента ориентируется вдоль поля подобно магнитной стрелки компаса. Наибольшие значения намагниченности могут достигать значения индукции насыщения выбранного материала МНЧ и составлять около 1 Тесла. В неоднородном ПМП МНЧ подвержены силовому воздействию, что позволяет осуществлять их перемещение в требуемом направлении, в частности, внутри кровеносных сосудов.

Физические основы обнаружения МНЧ в БС с помощью магнитоакустического томографа

Магнитоакустический томограф (МАТ) является новым устройством для дистанционной визуализации пространственных неоднородностей в БС [19, 20, 21]. Его функционирование основано на совместном воздействии на БС постоянного и импульсного МП, в результате которого возникают ультразвуковые колебания БС. Эти колебания регистрируются УЗ детекторами и несут информацию об акустически чувствительных неоднородностях БС. Величина постоянного МП достигает 1 Тесла, а импульсного поля - десятков гаусс. Длительность импульсов обычно составляет 1 микросекунду (10^{-6} сек.). При подаче импульса МП в исследуемом участке БС возникает импульс вихревого тока, т.к. БС обладает электропроводностью. В результате взаимодействия этого тока с постоянным МП также импульсно возникает сила Лоренца, действующая на БС. В результате такого механического “толчка” в среде, имеющей определенную упругость и вязкость, возникают затухающие колебания, имеющие определенный спектр частот. Этот спектр зависит от акустических свойств БС, в частности, от распределения ее плотности и электропроводности. С помощью детекторов УЗ, расположенных в водной среде на периферии исследуемого биологического объекта, этот спектр регистрируется и обрабатывается по специальным программам, зависящих от цели исследования.

Одним из объектов исследований с помощью МАТ являются неоднородности в виде совокупности магнитных наночастиц в БС [20]. Неоднородности в пространственном распределении МНЧ в биологической среде вызывают изменение спектра акустических колебаний, регистрируемых аппаратурой МАТ. Эти изменения позволяют судить о распределении концентрации МНЧ в исследуемой БС (Рис. 6).

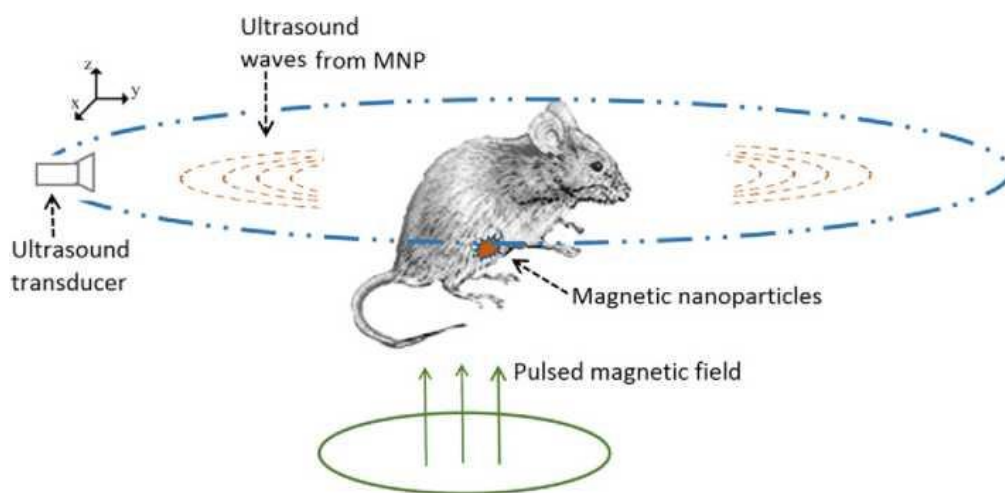


Рисунок 6 – Схематическое изображение регистрации магнитных наночастиц методом магнито-акустической томографии с короткими импульсами магнитного поля [22]

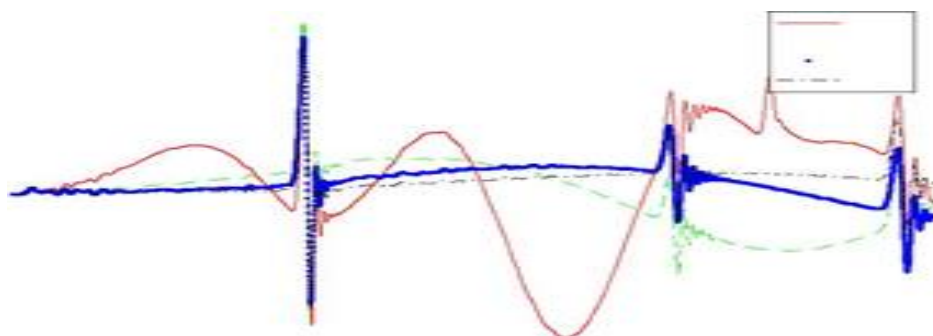


Рисунок 7 – Вид імпульсов УЗ в МАТ – томографі [22]

Физические и конструктивные особенности МАТ позволяют надеяться на меньшую его стоимость и большую доступность в сравнении с аппаратурой ядерного магнитного резонанса (ЯМР), которая сейчас вынужденно используется для обнаружения МНЧ в БС. Вынужденное использование ЯМР до сих пор было вызвано отсутствием альтернативных безопасных методов обнаружения скоплений МНЧ.

О возможности осуществления альтернативного акустомагнитного метода (АММ) обнаружения МНЧ

Одним из возможных, по нашему мнению, и более простых, в сравнении с МАТ, методов определения концентрации МНЧ в БС может стать метод возбуждения в ней механических колебаний с помощью генератора фокусируемого УЗ [23]. Эти колебания в предлагаемом методе будут происходить вместе с колебаниями находящихся в ней МНЧ. При наложении на БС постоянного МП магнитные моменты МНЧ будут ориентированы в одном направлении и синфазно колебаться с частотой УЗ. Колебания многих магнитных частиц вызывают появление вторичного переменного МП в окружающем пространстве. Их суммарное магнитное поле может регистрироваться магнитометром в виде индукционной катушки, находящейся поблизости от исследуемого участка БС. При использовании этого акустомагнитного метода (АММ) фокусируемый УЗ может сканировать биологический объект и в конечном итоге обеспечить получение его томографических изображений (Рис. 8).

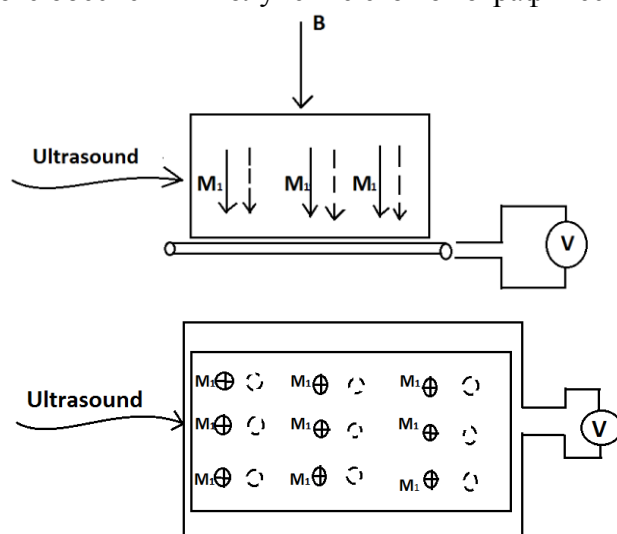


Рисунок 8 – Схема акустомагнитного метода обнаружения МНЧ
(вид досліджуваного участка БС збоку і нижче - вид зверху).
Сплошними і штриховими лініями показано зміщення положення
магнітних моментів (M_1) частиць під дією УЗ

ВЫВОДЫ

В настоящее время интенсивно развиваются биотехнологии направленного транспорта наночастиц в биологической среде и изучения свойств этой среды бесконтактными методами. Важное место среди этих технологий может занять совместное использование постоянного магнитного поля и ультразвука. С помощью этих физических воздействий могут решаться задачи определения пространственного распределения магнитных наночастиц в биологической среде и изучения ее свойства. Одним из важных новых достижений в этой области явилась, в частности, разработка магнитоакустического томографа. Настоящий обзор также содержит обоснование перспективного направления разработок в области подобных биотехнологий с применением акустомагнитного метода.

Перспективными работами в области изучения совместного действия УЗ и ПМП на биологическую среду являются экспериментальные модельные исследования МГД - эффекта и поведения МНЧ в ультразвуковом и магнитном полях.

Список используемых источников:

1. *Кизилова, Н. Н.* Агрегация в магнитном поле / *Н. Н. Кизилова* // Современные проблемы биомеханики. Реология крови и микроциркуляция. – 1994. – № 9 – С. 118–135.
2. *Тарапов, И. Е.* Учёный. Учитель. Человек / *И. Е. Тарапов; под ред. А. В. Ефименко.* – Харьков : Новое слово, 2011. – 438 с.
3. Физические основы использования ультразвука в медицине : учеб. пособие / *И. И. Резников [и др.]* / Рос. нац. исслед. мед. ун-т им. Н. И. Пирогова. – М., 2015. – 97 с.
4. *Олейник В. П.* Основы взаимодействия физических полей с биологическими объектами / *В. П. Олейник*; Нац. аэрокосм. ун-т им. Н. Е. Жуковского; Харьк. авиац. ин-т. – Харьков : Харьк. авиац. ин-т, 2006. – 61 с.
5. An Attempt of Determining the Force Characteristics of Fields in Magnetic Stereotactic System / *Elamir Abu Abaida Ali [et al.]* // International Journal of Engineering Science and Innovative Technology (IJESIT). – 2012. – Vol. 1, N 2. – P. 266–270.
6. *Аврунин, О. Г.* Определение закона движения хирургического инструмента в системах магнитного стереотаксиса / *О. Г. Аврунин* // АСУ и приборы автоматики. – 2000. – № 113. – С. 18–23.
7. *Аврунин, О. Г.* Определение степени инвазивности хирургического доступа при компьютерном планировании оперативных вмешательств / *О. Г. Аврунин, М. Ю. Тымкович, Х. Фарук* // Бионика интеллекта. – 2013. – № 2 (81). – С. 101–104.
8. Інтелектуальні технології моделювання хірургічних втручань / *О. Г. Аврунин [та ін.]*. – Харків : ХНУРЕ, 2018. – 224 с.
9. *Роза, Р.* Магнитогидродинамическое преобразование энергии / *Р. Роза.* – М. : Мир, 1979. – 252 с.
10. *Бондаренко, И. С.* Магнитная гидродинамика биологической среды / *И. С. Бондаренко, О. Г. Аврунин* // Актуальні проблеми автоматики та приладобудування : матеріали I Міжнар. наук-техн. конф. (Харків, 07–08 груд. 2017 р.) / Нац. техн. ун-т «Харків. політехн. ін-т» [та ін.]. – Харків, 2017.
11. *Эльпинер, И. Е.* Ультразвук. Физико-химическое и биологическое действие / *И. Е. Эльпинер.* – М. : Физматгиз, 1963. – 420 с.
12. *Ивонин, А. Г.* Направленный транспорт лекарственных препаратов: современное состояние вопроса и перспективы / *А. Г. Ивонин, В. А. Пименов, Д. А. Оборин* // Известия Коми научного центра УрО РАН. – 2012. – № 1 (9). – С. 46–55.

13. Kamzin, A. S. Исследования свойств наночастиц Ag/Feco/Ag типа ядро/оболочка/оболочка / A. S. Kamzin, M. Takahashi, S. Maenosono // Физика твердого тела. – 2017. – Т. 59, вып. 10. – С. 1999–2005.
14. Синтез, свойства и применение в экспериментальной медицине и биологии магниточувствительных нанокомпозитов, содержащих благородные металлы / С. П. Туранская [и др.] // Поверхность. – 2011. – № 3. – С. 343–366.
15. Семкина, А. С. Векторные магнитные наночастицы оксида железа, загруженные доксорубицином, в диагностике и терапии экспериментальных опухолей : автореф. дис. ... канд. биолог. наук : 03.01.04 / Семкина Алевтина Сергеевна. – М., 2016. – 129 с.
16. Ичкитидзе, Л. П. Векторная доставка лекарственных препаратов с помощью магнитных частиц / Л. П. Ичкитидзе, Н. Ю. Шичкин, А. О. Голубева // Сб. тезисов 6 ежегодной конференции Нанотехнологического общества России (Москва, 9 декабря 2014 г.). – М., 2014. – С. 31–33.
17. Взаимодействие магнитных наночастиц с клетками. Медико-биологические проблемы поверхности / С. П. Туранская [и др.] // Поверхность. – 2013. – № 5. – С. 227–246.
18. Никифоров, В. Н. Биомедицинские применения магнитных наночастиц / В. Н. Никифоров // Наука и технологии в промышленности. – 2011. – № 1. – С. 90–99.
19. A study of acoustic source generation mechanism of Magnetoacoustic Tomography / Wang Shigang [et al.] // Computerized Medical Imaging and Graphics. – 2014. – № 38. – 42–48.
20. Xu, Y. Magnetoacoustic tomography with magnetic induction (MAT-MI) / Y. Xu // Physics in Medicine and Biology. – 2005. – № 50. – P. 5175–5187.
21. Ammari, H. A mathematical and numerical framework for magnetoacoustic tomography with magnetic induction / H. Ammari, S. Boulmier, P. Millien // Differential equations. – 2015. – № 259. – P. 5379–5405.
22. Mariappan, L. Magneto acoustic tomography with short pulsed magnetic field for in-vivo imaging of magnetic iron oxide nanoparticles / L. Mariappan, Qi Shao, Chunlan Jiang // Nanomedicine : Nanotechnology, Biology, and Medicine. – 2016. – № 12. – P. 689–699.
23. Avrunin, O. G. Possibilities of joint application acoustic radiation and a direct magnetic field for biological research / O. G. Avrunin, I. S. Bondarenko // ICBEM & RGC 2018 : proceedings of the 11th International Conference on Bioelectromagnetism & 13th Russian-German Conf. on Biomedical Engineering (Aachen, May 23 – 25th, 2018 y.) – Aachen, 2018. – P. 66–67.

Бондаренко І. С., Аврунін О. Г., Бондаренко С. І., Кревсун А. В.

ДОСВІД І ПЕРСПЕКТИВИ ДОСЛІДЖЕННЯ СПІЛЬНОЇ ДІЇ МАГНІТНОГО ПОЛЯ І АКУСТИЧНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ НА МОДЕЛЬНІ І РЕАЛЬНІ БІОЛОГІЧНІ ОБ'ЄКТИ

Значення електричного поля було виміряно в електропровідному водному розчині з NaCl, що виникає при одночасному впливі на нього ультразвуку і постійного магнітного поля. Запропоновано та розроблено основні підходи і схема лабораторного пристрою. Основні характеристики ультразвукового випромінювання в місці вимірювання електричного поля визначаються виходячи з його значення і експериментальних параметрів установки. Можна припустити, що при постійних значеннях інтенсивності випромінювання і магнітного поля значення вимірюваної напруги в заданих областях тіла дасть нову кількісну інформацію про стан організму. Обговорюється можливість використання вимірювань електричного поля для вивчення властивостей біологічної тканини. Виконано аналіз сучасних досліджень і публікацій на тему спільного впливу магнітного поля та

ультразвуку для виявлення магнітних наночастинок в біологічному середовищі. Виконано аналіз публікацій по темі дослідження фізичних основ виявлення магнітних наночастинок за допомогою магнітоакустичні томографа, а також можливості здійснення альтернативного Акустомагнітні методу їх виявлення. Зазначено на перспективність подальших модельних експериментальних досліджень МГД-ефекту і поведінки магнітних наночастинок в ультразвуковому і магнітному полях.

Спільний вплив постійного магнітного поля та ультразвуку на біологічне середовище початок вивчатися в останні 10 -15 років. В даний час можна виділити два основних напрямки досліджень в цій галузі біотехнологій:

- 1) транспорт і просторовий розподіл магнітних наночастинок в біологічного середовища для забезпечення адресної доставки ліків і підвищення ефективності лікування;
- 2) магнітогідродинамічний ефект (МГДЕ) в біологічному середовищі при його використанні для неінвазивного і нешкідливого виявлення патологічних утворень.

Зокрема можна використовувати МГДЕ для діагностики стану пацієнта. Основними матеріальними параметрами біологічного середовища, від яких залежить вимірювана величина напруженості електричного поля (E), є щільність біологічного середовища і швидкість поширення звуку в ній. Певний інтерес представляє також твір цих величин, яке носить назву акустичного опору середовища. Таким чином, вимірюючи значення (E) в різних ділянках біологічного середовища, можна отримати інформацію про розподіл і величиною зазначених параметрів.

Ключові слова: ультразвук, магнітне поле, наночастинок

Bondarenko I. S., Avrunin O. G., Bondarenko S. I., Krevsun A. V.

EXPERIENCE AND PROSPECTS FOR THE STUDY OF THE JOINT ACTION OF THE MAGNETIC FIELD AND ACOUSTIC RADIATION ON MODEL AND REAL BIOLOGICAL OBJECTS

The value of the electric field was measured in an electrically conductive aqueous solution with NaCl, which occurs with the simultaneous exposure to ultrasound and a constant magnetic field. Proposed and developed the basic approaches and the scheme of the laboratory device. The main characteristics of ultrasonic radiation at the site of measurement of the electric field are determined based on its value and the experimental parameters of the installation. It can be assumed that at constant values of the radiation intensity and magnetic field, the value of the measured voltage in the specified areas of the body will give new quantitative information about the state of the body. The possibility of using electric field measurements to study the properties of biological tissue is discussed. The analysis of modern research and publications on the joint effects of a magnetic field and ultrasound to identify magnetic nanoparticles in a biological environment. The analysis of publications on the topic of the study of the physical basis for the detection of magnetic nanoparticles using a magnetoacoustic tomograph, as well as the possibility of implementing an alternative acoustic-magnetic method for their detection, was performed. The prospects for further model experimental studies of the MHD effect and the behavior of magnetic nanoparticles in ultrasonic and magnetic fields are indicated.

The combined effect of a constant magnetic field and ultrasound on the biological environment began to be studied in the last 10-15 years. Currently, there are two main areas of research in this area of biotechnology:

- 1) transport and spatial distribution of magnetic nanoparticles in the biological environment to ensure targeted drug delivery and increase the effectiveness of treatment;

2) the magnetohydrodynamic effect (MGDE) in a biological medium when used for non-invasive and harmless detection of pathological formations.

In particular, MGDE can be used to diagnose a patient's condition. The main material parameters of the biological environment, on which the measured value of the electric field strength (E) depends, are the density of the biological environment and the speed of sound in it. Of certain interest is also the product of these quantities, which is called the acoustic resistance of the medium. Thus, by measuring the value (E) in different parts of the biological environment, it is possible to obtain information on the distribution and magnitude of these parameters.

Key words: *ultrasound, magnetic field, nanoparticles*

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Ткаченко И. Ф.

Статья поступила 27.04.2018

УДК 615.47

Аксак Н. Г., Новосельцев И. В., Росинский Д. Н.

СИСТЕМА ПРЕДОСТАВЛЕНИЯ МЕДИЦИНСКИХ УСЛУГ НА ОСНОВЕ АРХИТЕКТУРЫ CLOUD-FOG-DEW

Разработана распределенная сервис-ориентированная система для предоставления медицинских услуг с помощью облачных вычислений. Для обработки медико-диагностических данных и выявления критического состояния здоровья пациента используется нейронная сеть. Применение «cloud-fog-dew» архитектуры позволяет своевременно предоставлять неотложную медицинскую помощь даже при отсутствии подключения к сети Интернет.

Ключевые слова: архитектура cloud-fog-dew, медицинская диагностика, удаленный мониторинг, нейросетевая классификация.

Постановка проблемы. В связи с развитием Интернета и мобильных устройств, для предоставления различных сервисов набирает популярность использование подключенных и взаимодействующих объектов. Сервис-ориентированные веб-порталы отличает возможность многократного предоставления сервисов с определенными интерфейсами. Вызываемые различными способами сервисы не имеют представления о приложениях, которые их вызывают, а приложения не располагают сведениями о том, каким образом вызываемая услуга будет реализована. Для пользования удаленными сервисами большое преимущество имеет служба облачных вычислений. Однако при отсутствии Интернет-соединения доступ к таким услугам становится невозможным. В качестве эффективного способа решения данной проблемы предлагается иерархия распределенного компьютеринга типа «cloud-fog-dew» для предоставления сервиса медицинским веб-порталом. Необходимость создания данной системы обусловлена тем, что большинство людей не уделяет должного внимания своему здоровью, часто откладывая обращение к врачу на неопределенное время. Данное обстоятельство в ряде случаев может приводить к тяжелым последствиям. Предложенная система предназначена для пациентов, находящихся на учете в медицинском учреждении, и позволяет им своевременно получать медицинскую помощь за счет удаленного автоматизированного контроля за состоянием здоровья.

Анализ последних исследований и публикаций. Облачные вычисления являются этапом эволюции в области компьютеров и сетей и предоставляют гибкие и экономически эффективные решения многих проблем. Однако при этом возникает ряд трудностей, в

частности, связанных с планированием вычислений [1]. В структуре планирования должны учитываться различные ограничения со стороны пользователя (срочность, проблемы производительности, стоимость исполнения, стоимость передачи, энергоэффективность, балансировка нагрузки и т.п.). Планирование обоснованно считается основной проблемой при создании облачных вычислительных систем.

Развитие решения задачи планирования демонстрирует разработка интеллектуальных систем моделирования на основе облачных технологий. Предложен подход [2], который на практике позволяет развивать интегрированную систему, избавляя от необходимости создавать и поддерживать собственную дорогостоящую вычислительную инфраструктуру, а также сокращать время и стоимость системного развития за счет интеграции веб-сервисов в портал знаний. При этом взаимодействие удаленных компонентов системы организовано в режиме реального времени.

Использование облачной технологии в качестве защищенного хранилища медицинской информации, которую можно было бы получать в любом месте и в любое время, имеет исключительную значимость. Поскольку медицинские данные крайне важны как для каждого пациента, так и для специалистов в медицинской сфере, эффективным решением в данном случае может стать обеспечение биометрической безопасности доступа к медицинским услугам [3].

Сравнительно недавно сформировалась парадигма пост-облачных вычислений [4-6]. Речь идет о сочетании взаимодействия с пользовательскими устройствами и использовании возможностей объектов, расположенных вблизи конечного пользователя [4]. В таком случае поставщики облачных вычислений, хранилищ и сетевых услуг получают возможность выбора местоположения для соответствующих служб (например, конкретное устройство пользователя, другие пользовательские устройства, близлежащие объекты и удаленные центры обработки данных) и даже возможность их переноса с места на место (по необходимости).

Для устранения недостатка классической облачной архитектуры, заключающегося в невозможности доступа к хранилищу данных при отсутствии Интернет-соединения, предложена архитектура «cloud-dew» [5], представляющая собой расширение клиент-серверной архитектуры. Роль dew-сервера играет локальный компьютер пользователя, на котором легко устанавливаются скрипты и базы данных сайтов, а также осуществляется веб-серфинг без подключения к Интернету. С целью улучшения облачной архитектуры возможно использование нескольких dew-серверов для каждого установленного локального домена [6]. Тем самым будет обеспечена большая свобода развития уровня «dew», а также автоматизация управления потоком контента на основе интересов пользователя.

Таким образом, с целью улучшения взаимодействия пользователя с поставщиками услуг в рамках медицинской информационной системы, возникает необходимость разработки архитектуры «cloud-fog-dew» для сервис-ориентированных систем.

Цель исследования. Разработать распределенную систему, которая предоставляет медицинские услуги на основе медицинских и диагностических данных, а также осуществляет дистанционный мониторинг состояния здоровья человека в режиме реального времени.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- создать архитектуру сервис-ориентированной медицинской системы;
- разработать модель взаимодействия компонентов системы.

Основной материал исследования. Основными действующими лицами разработанной системы [7] являются пациенты с хроническими заболеваниями при амбулаторном обследовании, при подготовке к операции, на этапах продолжения (завершения) начатого ранее лечения и реабилитации после острых состояний и специальные

службы (сиделки, медицинский персонал и люди, занимающиеся мониторингом, наблюдатели).

Пациент – человек, находящийся за пределами больницы и нуждающийся в постоянном контроле за его физическим состоянием, получении рекомендаций и, возможно, неотложной помощи. Он должен быть зарегистрирован в медицинском учреждении для включения в систему, иметь биодатчики и измерительные приборы, считывающие наиболее важные показатели здоровья и соединяющиеся с мобильным устройством, которое направляет собранные данные на основной сервер посредством сети Интернет.

Медицинский персонал – квалифицированные специалисты (врачи), зарегистрированные в учреждении здравоохранения, которые наблюдают за состоянием здоровья пациента, выписывают рецепты и осуществляют необходимые лечебные манипуляции.

В общем виде принцип функционирования разработанной системы для удаленной медицинской диагностики и мониторинга можно описать следующим образом. Пациент (желающий получить консультацию врача, нуждающийся в услугах медсестры (сиделки) и т.п.) после регистрации на медицинском веб-ресурсе получает уникальный идентификатор, а на его мобильное устройство устанавливается специальное приложение.

Для сбора данных о состоянии пациента может использоваться различная медицинская и вспомогательная аппаратура: медицинское оборудование диагностического и лабораторного назначения (на основе биосенсоров, BioMEMS, LOC), камеры видеонаблюдения, фотокамеры и т.п. Указанное оборудование подключается к мобильному устройству посредством проводного или беспроводного интерфейса. Мобильное устройство пересылает данные fog-серверу, который, в свою очередь, агрегирует и переводит показания устройств в форму, пригодную для дальнейшей обработки.

Результаты фотосъемки наблюдаемых объектов (например, кожных образований у пациента) являются входными данными для реализации метода контроля изменения размеров кожного образования. Основной задачей фотосъемки является увеличение точности вычисления реальной площади наблюдаемого объекта, увеличение качества и удобства пользования, а также снижение его стоимости путем одновременной цифровой фотосъемки шаблона и области интереса наблюдаемого объекта, последующей автоматической обработки полученных данных вне зависимости результата от используемой фототехники. Реализация метода контроля изменения размеров кожного образования основана на применении мобильного устройства, технические характеристики которого для всех сделанных с его помощью фотоснимков являются постоянными и не учитываются. Основные характеристики, которые вносят искажения параметров объектов на фотографии, такие как фокусное расстояние, система линз объектива, масштаб съемки и размер матрицы, искажают на полученном изображении в равной степени, как область интереса наблюдаемого объекта, так и шаблон, поэтому в математических расчетах также опускаются. Делая фотоснимки необходимо учитывать, что реальные объекты на фотографии в зависимости от фокусного расстояния, расстояния от объектива до плоскости объекта съемки сохраняют свои параметры (углы, цветность, рельеф и т.д.), но меняют масштаб. Для решения данной проблемы используется заданный шаблон, параметры и площадь которого известны. Вычисления реальной площади наблюдаемого объекта основаны на использовании свойств преобразования подобия объектов, при котором расстояния между точками изменяются пропорционально [8].

На slave-сервере решаются задачи:

- регистрации медико-диагностической информации D_{Hr} ;

- обработки изображений объектов в состоянии покоя D_{Hst} ;
- обработки изображений подвижных объектов D_{Hdn} ;
- постановки предварительного диагноза посредством нейросетевого классификатора.

Использование архитектуры «cloud-fog-dew» позволяет хранить локальную копию приложения на устройстве пользователя и работать в автономном режиме (рисунок 1). Если Интернет доступен, состояние пользовательского устройства синхронизируется с облаком. Однако при таком подходе существуют две проблемы:

- не всегда имеется возможность хранить многочисленные данные на локальном компьютере в соответствии с данными в облаке;
- пользователю, возможно, придется запоминать локальное и облачное местоположение своих данных.

Slave-сервер, развернутый на локальном компьютере, и связанные с ним базы данных имеют назначение:

- предоставление клиенту тех же услуг, что и со стороны облачного master-сервера;
- синхронизация локальных баз данных с базами облачных серверов.

Это «легкий» веб-сервер, который обычно обслуживает только одного пользователя (пациента) и хранит только его собственные данные, поэтому объем данных slave-сервера намного меньше облачного сервера. Slave-сервер доступен пользователю как при подключении к сети Интернет, так и без него.

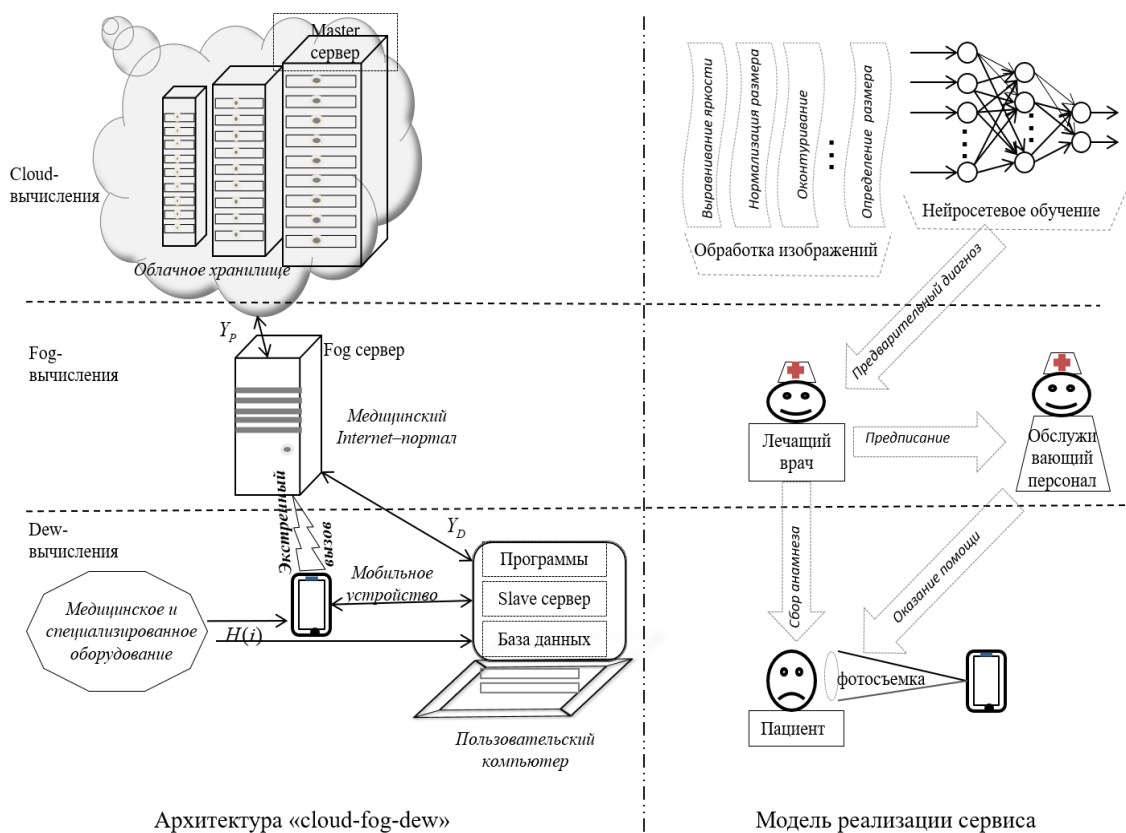


Рисунок 1 – Концепция сервис-ориентированной системы предоставления медицинских услуг

Основной особенностью fog-сервера является его близкое расположение к конечному пользователю, обеспечивая мобильность устройств в разных местоположениях с минимальной задержкой в обработке данных. Это значит, что данные обрабатываются недалеко от источника их формирования, без надобности их передачи в главный центр обработки.

При выявлении критического состояния пациента, т.е. когда требуется оказание скорой помощи, могут возникнуть сложности, связанные с задержкой передачи данных (латентностью) и отсутствием подключения к Интернету. Для решения этой проблемы результаты обработанных на пользовательском компьютере данных передаются на мобильное устройство, с помощью которого осуществляется звонок в медицинское учреждение.

Основной сайт master-сервера дублируется упрощенной версией на slave-сервере, но с тем отличием, что master-сервер предоставляет глобальные услуги, а slave-сервер – услуги конкретному пользователю. Под услугами здесь понимаются, например, анализ медицинских изображений (меланомы, опухолей, маммографии, ишемической болезни сердца и т.п.), удаленный мониторинг состояния здоровья человека и вызов медперсонала для оказания помощи в критических состояниях. Для разных категорий пользователей вырабатывается оптимальная стратегия, на основе которой настраивается веб-контент.

Для диагностирования состояния пользователя используется распределенная модель медицинского Интернет-ресурса Ξ [9], которая реализует преобразование входных значений H в выходные величины Y :

$$\Xi \subset H \times Y,$$

где $H(i) = \{H_D(i), H_P(i)\}$ – матричное представление входных данных: медико-диагностические данные измерительных приборов, изображения, у которого значения яркости элементов обозначаются h_{kj} ($h_{kj} = \overline{0, 255}$, $k = \overline{1, m}$, $j = \overline{1, n}$); доступная информация о пользователе медицинского веб-портала; $Y = \{Y_D, Y_P\}$, ($Y \subset \Upsilon$) – множество формализованных свойств.

Таким образом, пространство (универсум) $\Sigma = X \times Y$ включает $\Xi \subset (H \times Y)$. Это означает, что существует такое подмножество H ($H \subset X$) и отношений между ними, на которых строится модель Ξ .

Для выходных величин Y_D построено множество заданий, решение которых принадлежит множеству $D_H = \{D_{Hr}, D_{Hst}, D_{Hdn}\}$, где $D_{Hr} = \{R_1, R_2, \dots, R_r\}$ – задача регистрации медико-диагностической информации (температура, артериальное давление, пульс и т.п.), $D_{Hst} = \{M_1, M_2, \dots, M_{st}\}$ – задача обработки изображений объектов в состоянии покоя (M_1 – выделение области интереса, M_2 – бинаризация, M_3 – скелетонизация и т.п.), $D_{Hdn} = \{D_1, D_2, \dots, D_{dn}\}$ – задача обработки изображений движущихся (прямолинейно, вращательно, поступательно и т.д.) объектов.

Для выходных величин Y_P сформировано множество заданий, решение которых принадлежит множеству $D_P = \{D_{IPU}, D_{SOM}\}$ – задача адаптации медицинского веб-портала (

D_{IPU} – построение информационного портрета пользователя, D_{SOM} – кластеризация пользователей с помощью самоорганизующейся карты Кохонена).

Отображение $T: H_D \rightarrow Y_D$ позволяет для каждого $H_D(i)$ найти такое $Y_j \in Y_D$ ($j = \overline{1, Q}$, Q – количество классов), которое является решением задачи D_H . Значения $Y_j \in Y_D$ используются для формирования конечного диагноза с помощью нейросетевого классификатора и выработки дальнейшей тактики поведения.

Отображение $\Pi: H_p \rightarrow Y_p$ позволяет для каждого $H_p(i)$ получить такое $Y_j \in Y_p$ ($j = \overline{1, \Omega}$, Ω – количество интерфейсов), которое является решением задачи D_p , полученное в виде распределенной модели медицинского Интернет-ресурса. Значения $Y_j \in Y_p$ используются для выработки стратегии настройки контента для каждого кластера пользователей с помощью самоорганизующейся карты Кохонена.

Экспериментальная система построена на основе архитектуры «cloud-fog-dew» для сервис-ориентированных систем. Эта система включает программное обеспечение (ПО) различных типов:

- персональное ПО, устанавливаемое на личном цифровом устройстве пациента; взаимодействует с аппаратурой, обеспечивающей сбор информации о пациенте, и отправляет оцифрованную информацию master-серверу;
- ПО обслуживающего персонала, которое соединяется с master-сервером и получает данные в соответствии с требованиями пользователя; позволяет взаимодействовать с данными о состоянии пациента независимо от местоположения наблюдателя;
- серверное ПО, установленное на master-сервере и разработанное для платформы .NET Framework с применением объектно-ориентированного языка программирования С#; обрабатывает и хранит данные о пациентах. Для хранения информации о пользователях выбрана база данных MS SQL Server, подключение к которой осуществляется посредством ORM (Object-Relational Mapping);
- ПО резервного копирования данных и их восстановления, которое обеспечивает безопасность данных при сбоях в работе серверов.

Одним из назначений базы данных является задача хранения и выбора фотографий с целью упрощения поиска нужных фотоизображений. Реализованы три основные функции: просмотр графики; добавление графики на сервер; поиск графики в базе данных либо на сервере. Каждое фотоизображение идентифицируется по инвентарному номеру. Каждому фотоизображению ставится в соответствие логический каталог.

Исходя из этого, база данных разделена на две таблицы с именами Image и Directory (рисунок 2). Таблица Image содержит информацию о графическом наполнении, идентификационный номер (ID), идентификационный номер логического каталога (DirectoryID), имя файла (FileName), описание файла (Description), дату и время создания записи на сервере (Created), и рейтинг фото (Rating). Таблица Directory содержит информацию о логических каталогах, идентификационный номер (ID), дату и время создания каталога на сервере (Created), название каталога (Description).

Связь таблиц осуществляется по полям Image.DirectoryID и Directory.ID. Для того, чтобы в любой момент можно было получить информацию обо всех фотоизображениях и о конкретных фотоизображениях, находящихся в отдельных логических папках, реализована связь «от многих к одному».

Image				Directory			
	Column Name	Data Type	Allow Nulls		Column Name	Data Type	Allow Nulls
<input type="checkbox"/>	ID	int	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	ID	int	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	DirectoryID	int	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Created	datetime	<input checked="" type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	FileName	nvarchar(255)	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Description	nvarchar(1000)	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	Description	nvarchar(1000)	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>			<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	Created	datetime	<input checked="" type="checkbox"/>				
<input type="checkbox"/>	Rating	int	<input checked="" type="checkbox"/>				
<input type="checkbox"/>			<input type="checkbox"/>				

Рисунок 2 – Структура базы данных фотоизображений

Реализована частная постановка двух задач:

- первичной диагностики гипертонии на основании показаний цифрового измерителя артериального давления;
- первичной диагностики меланомы, на основании опроса пациента (рисунок 3) и анализа изображений участков кожи.

При этом следует учитывать ограничения:

- диагноз пациента содержит не более одной болезни (пациент болен данной болезнью или здоров);
- пациент должен быть осмотрен врачом при подозрении на заболевание;
- подзадача поиска для случая заболевания не рассматривается.

Рисунок 3 – Формирование вектора опроса для задачи диагностики меланомы

В процессе мониторинга пациент удаленно отвечает на вопросы, приведенные в анкете. Первичный диагноз формируется с применением нейронной сети, на вход которой поступает сгенерированный вектор опроса, совместно с результатом обработки объективных данных (показаний цифрового тонометра или изображения участка кожи соответственно для решения указанных выше задач). В зависимости от полученных результатов на fog-сервере формируются рекомендации о лечении, предписания обслуживающему персоналу либо инициируется вызов с мобильного устройства пациента в службу скорой помощи.

В порядке проведения эксперимента было предложено медэксперту самостоятельно поставить диагноз, а затем диагноз определялся с применением разработанной системы (таблица 1). Тестирование показало, что разработанная система обнаружения критического состояния здоровья позволяет повысить точность диагностики на 9,4 %.

Таблица 1 – Результаты тестирования разработанной системы удаленного мониторинга состояния здоровья пациента

Номинальные классы	Количество экземпляров	Количество экземпляров					
		без использования системы			при использовании системы		
		норма	домашний уход	госпитализация	норма	домашний уход	госпитализация
норма	100	90	7	3	95	3	2
домашний уход	100	3	91	6	2	96	2
госпитализация	100	0	9	91	0	5	95

Критерием эффективности разработки является удовлетворение требованиям:

$$k : \forall (D_i \in D_H) [(\tau^a < \tau^{\max}) \& (\tau^p < \tau^{\max}) \& (\tau^r < \tau^{\max}) \& (\varpi > \varpi^{\min})] \Rightarrow Y_D,$$

где D_i – подзадача общей задачи предоставления сервиса D_H ; τ^a – время адаптации локального сайта, τ^p – время обработки медико-диагностических показателей, τ^r – время реакции системы; ϖ – степень релевантности отображенной информации.

ВЫВОДЫ

Таким образом, разработана распределенная модель медицинского Интернет-ресурса, на основе которой построена система удаленного мониторинга состояния здоровья человека. Аналогичные подходы можно применить, например, в системах компьютерного планирования оперативных вмешательств [10-14]. Предлагаемая система основана как на анкете пациента с врачом, так и на обработке данных, зарегистрированных медицинским и вспомогательным оборудованием. Это дает возможность обрабатывать высококачественные изображения пигментных новообразований кожи большой размерности, а также увеличить точность контроля изменения размеров наблюдаемых пигментных новообразований кожи что способствует установлению своевременного диагноза.

Система реализована на основе предложенной архитектуры «cloud-fog-dew» для сервис-ориентированных систем, которая объединяет распределенные методы и инструменты для сбора, хранения, обработки и анализа больших данных. Такой подход позволяет своевременно предоставлять неотложную медицинскую помощь в случае критического ухудшения состояния здоровья, даже при отсутствии подключения к сети Интернет.

Список используемых источников:

1. *Sindhu, S.* Task scheduling in cloud computing / *S. Sindhu* // Int. J. Adv. Res. Comput. Eng. Technol. – 2015. – Vol. 4. – P. 3019–3023.
2. *Intelligent modeling system based on cloud-technology / V. R. Senchenko [et al.]* // 2016 IEEE Міжнародна конференція з інформаційно-телекомунікаційних технологій та

радіоелектроніки (УкрМіКо'2016/UkrMiCo'2016) : зб. матеріалів науково-техн. конф. (Київ, 11–15 вересня 2016 р.). – Київ, 2016. – С. 449–452.

3. *Choi, M.* Biometric application for healthcare records using cloud technology / *M. Choi, R. E. Paderes* // Proc. 2015 8th Int. Conf. on Bio-Science and Bio-Technology (BSBT). – Jeju Island, South Korea, 2015. – P. 27–30.

4. *Zhou, Y.* Post-cloud computing paradigms: a survey and comparison / *Y. Zhou, D. Zhang, N. Xiong* // Tsinghua Science and Technology. – 2017. – Vol. 22, N 6. – P. 714–732.

5. *Wang, Y.* Cloud-dew architecture / *Y. Wang* // International Journal of Cloud Computing. – 2015. – Vol. 4, N 3. – P. 199–210.

6. *Fisher, D. E.* Doing more with the dew: a new approach to cloud-dew architecture / *D. E. Fisher, S. Yang* // Open Journal of Cloud Computing (OJCC). – 2016. – Vol. 3, N 1. – P. 8–19.

7. *Axak, N. G.* Development of multi-agent system of neural network diagnostics and remote monitoring of patient / *N. G. Axak* // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2016. – Vol. 4, N 9 (82). – P. 4–11.

8. Спосіб контролю зміни розмірів об'єкта за допомогою шаблону : пат. 84380 : МПК G 01 C 11/00 / *Аксак Н. Г., Кушнар'єв М. В., Новосельцев І. В., Тихун А. Ю.* – № а200711793; заявл. 25.10.2007; опубл. 10.10.2008, Бюл. № 19.

9. *Аксак, Н. Г.* Мультиагентная система нейросетевой диагностики и удаленного мониторинга пациента // Інформаційні технології: проблеми та перспективи : монографія / *Н. Г. Аксак; за заг. ред. В. С. Пономаренка.* – Харків, 2017. – С. 325–340.

10. *Аврунин, О. Г.* Принципы компьютерного планирования функциональных оперативных вмешательств / *О. Г. Аврунин* // Технічна електродинаміка. – 2011. – Темат. вип. : Силова електроніка та енергоефективність, ч. 2. – С. 293–298.

11. Построение персонализированной анатомической модели диафрагмы человека / *В. Г. Дуденко [и др.]* // Експериментальна і клінічна медицина. – 2014. – № 2 (63). – С. 68–70.

12. *Ismail Saied, H. F.* An Attempt of the Determination of Aerodynamic Characteristics of Nasal Airways / *H. F. Ismail Saied, A. K. Al Omari, O. G. Avrunin* // Image Processing & Communications. Challenges 3, AISC. – 2011. – Vol. 102. – P. 311–322.

13. *Al_Omari, A. K.* of Changes of the Hydraulic Diameter and Determination of the Air Flow Modes in the Nasal Cavity / *A. K. Al_Omari, H. F. Ismail Saied, O. G. Avrunin* // Image Processing & Communications. Challenges 3, AISC. – 2011. – Vol. 102. – P. 303–310.

14. *Аврунин, О. Г.* Реконструкция объемных моделей черепа и имплантата по томографическим снимкам / *О. Г. Аврунин, Е. О. Шамраева* // Системи обробки інформації : зб. наук. пр. – Харків, 2007. – Вип. 9 (67). – С. 137–140.

Аксак Н. Г., Новосельцев І. В., Росінський Д. М.

СИСТЕМА НАДАНИЯ МЕДИЧНИХ ПОСЛУГ НА ОСНОВІ АРХІТЕКТУРИ CLOUD-FOG-DEW

В даний час для надання різних сервісів набирає популярність використання підключених і взаємодіючих об'єктів. Для користування віддаленими сервісами велика перевага має служба хмарних обчислень. Однак при відсутності Інтернет-з'єднання доступ до таких послуг стає неможливим. В якості ефективного способу вирішення даної проблеми пропонується ієрархія розподіленого комп'ютерингу типу «cloud-fog-dew» для надання сервісу медичним веб-порталом. Запропонована система призначена для пацієнтів, які перебувають на обліку в медичному закладі, і дозволяє їм своєчасно отримувати медичну допомогу за рахунок віддаленого автоматизованого контролю за станом здоров'я.

У загальному вигляді принцип функціонування розробленої системи для віддаленої медичної діагностики і моніторингу полягає в тому, що пацієнт отримує унікальний ідентифікатор, а на його мобільній пристрій встановлюється спеціальний додаток. Для збору даних про стан пацієнта може використовуватися різна медична та допоміжна апаратура: медичне обладнання діагностичного і лабораторного призначення, камери відеоспостереження, фотокамери тощо. Зазначене обладнання підключається до мобільного пристрою за допомогою провідного або бездротового інтерфейсу. Мобільний пристрій пересилає дані fog-сервера, який агрегує і переводить показання приладів в форму, придатну для подальшої обробки та аналізу.

Пропонована система заснована як на анкеті пацієнта з лікарем, так і на обробці даних, зареєстрованих медичним і допоміжним обладнанням. Такий підхід дозволяє своєчасно надавати невідкладну медичну допомогу в разі критичного погіршення стану здоров'я, навіть при відсутності підключення до мережі Інтернет. Використання хмарної технології в якості захищеного сховища медичної інформації, яку можна було б отримувати в будь-якому місці і в будь-який час, має виняткову значимість.

Ключові слова: архітектура cloud-fog-dew, медична діагностика, віддалений моніторинг, нейромережна класифікація

Axak N. G., Novoseltsev I. V., Rosinskiy D. N.

SYSTEM PROVIDING MEDICAL SERVICES BASED ON CLOUD-FOG-DEW ARCHITECTURE

Currently, the use of connected and interacting objects is gaining popularity to provide various services. For using remote services, the cloud computing service has a great advantage. However, in the absence of an Internet connection, access to such services becomes impossible. As an effective way to solve this problem, a hierarchy of distributed computing like "cloud-fog-dew" is proposed for providing a service by a medical web portal. The proposed system is designed for patients who are registered with a medical institution, and allows them to receive medical care in a timely manner due to remote automated health monitoring.

In general, the principle of operation of the developed system for remote medical diagnostics and monitoring is that the patient receives a unique identifier, and a special application is installed on his mobile device. To collect data on the patient's condition, various medical and auxiliary equipment can be used: medical equipment for diagnostic and laboratory purposes, surveillance cameras, cameras, etc. The specified equipment is connected to the mobile device via a wired or wireless interface. The mobile device sends the data to the fog-server, which aggregates and translates the readings of the devices into a form suitable for further processing and analysis.

The proposed system is based both on the patient's questionnaire with a doctor, and on the processing of data recorded by medical and auxiliary equipment. This approach allows us to provide emergency medical care in a timely manner in the event of a critical deterioration in health status, even in the absence of an Internet connection. The use of cloud technology as a secure repository of medical information, which could be obtained anywhere and at any time, is of exceptional importance.

Key words: architecture cloud-fog-dew, medical diagnostics, remote monitoring, neural network classification

Рецензент: д-р фіз.-мат. наук, проф. Бых А. И.

Статья поступила.

УДК 615.47

Аврунин О. Г., Носова Я. В., Сорочан Е. Н.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИНТЕНСИВНОСТИ ИСПАРЕНИЯ ОДОРИВЕКТОРА ВО ВРЕМЯ ПРОВЕДЕНИЯ ОЛЬФАКТОМЕТРИЧЕСКОГО ИССЛЕДОВАНИЯ

Аннотация. Произведены расчеты интенсивности испарения одоривекторов в зависимости от площади воздушных отверстий в одоривекторной насадке на риноманометр типа ТНДА-ПРХ. Построены графики зависимости интенсивности испарения пахучих веществ от площади воздушных отверстий одоривекторной насадки. Определено, что наибольшая интенсивность испарения для всех одоривекторов соответствует наименьшей площади воздушных отверстий одоривекторной насадки ($S=400 \text{ мм}^2$) и наибольшему расходу воздуха ($q=2 \text{ л/с}$).

Ключевые слова: одоривектор, ольфактометрия, испарение

Постановка проблемы. Исследование обонятельного анализатора не только позволяет выявлять на ранних стадиях различные заболевания, но является инструментом для оценки эффективности ринохирургического вмешательства, также полноценное восприятие запахов влияет на качество жизни человека. Актуальными являются задачи связанные с прогнозированием и оценкой функциональных результатов эндоназального оперативного вмешательства, которыми в случае респираторно-обонятельных нарушений, является условие прохождения воздуха через верхний носовой ход и восстановление обонятельной чувствительности [1].

Анализ последних исследований и публикаций. Для диагностики нарушений функции обонятельного анализатора в мировой практике используются различные методики. Наиболее популярные: обонятельный идентификационный тест университета Пенсильвании (США), обонятельный тест с использованием аромо-дискет (Швейцария), обонятельный тест Барселоны (Испания), Сниффинг Стикс-тест (США, Германия) [2-5].

Общим недостатком этих методов тестирования обоняния, является то, что часто запахи, используемые для идентификации в одной стране, не знакомы жителям другой страны, а также то, что заключение о состоянии обонятельного анализатора делается на основании субъективных свидетельств обследуемых. Следовательно, результаты тестирования обонятельной функции не могут быть строго формализованными и иметь однозначные параметры. Для повышения объективности исследований обоняния применяют специальное оборудование, с помощью которого пытаются минимизировать искажение данных, например, выветривание одоранта.

Цель исследования. Необходимо предложить способ ольфактометрии, который позволял бы связать параметры дыхания с показателями обонятельной функции для обеспечения повышения объективности ольфактометрических исследований за счет размещения носителя пахучего вещества в воздушном тракте риноманометра, а также процедур определения энергетических характеристик дыхания. Реализация данного способа, в свою очередь, позволит проводить эффективное респираторно-обонятельное тестирование нарушений на доказательном уровне.

Основной материал исследования. Для объективной диагностики нарушений функции обонятельного анализатора на кафедре биомедицинской инженерии Харьковского национального университета радиоэлектроники в рамках сотрудничества с кафедрой оториноларингологии Харьковского национального медицинского университета была разработана конструкция одоривекторной насадки к риноманометру типа ТНДА-ПРХ [5-6].

Опытный образец устройства проходит предварительные клинические испытания в оториноларингологическом отделении Харьковской областной клинической больницы. Внешний вид опытного образца одоривекторной насадки для риноманометра типа ТНДА-ПРХ представлен на рисунке 1.

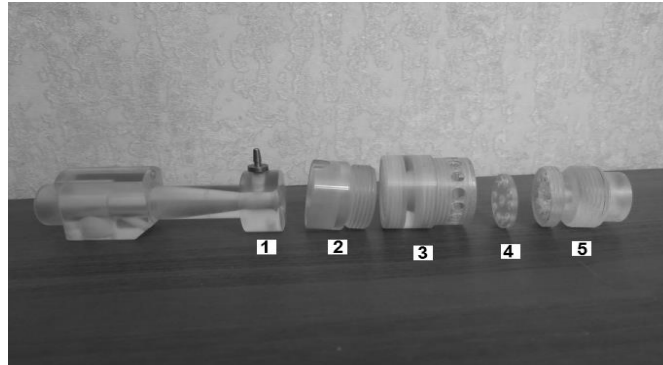


Рисунок 1 – Опытный образец одоривекторной насадки
 1 – сопло Вентури; 2 – цилиндрический переходник;
 3 – цилиндрическая обойма; 4 – шайба; 5 – втулка

Разработанный способ повышения ольфактометрического исследования на первом этапе включает выполнение подготовки к проведению процедуры динамической риноманометрии (rinoflowmetry), при которой измеряются показатели перепада давления Δp на носовой полости и расхода Q воздуха при носовом дыхании. Носитель одоривектора, например, гигроскопическая цилиндрическая кольцевая прокладка, пропитанная раствором специфического обонятельного вещества, размещается в воздушном тракте риноманометра, как правило, на входе датчика измерения расхода воздуха.

При этом величину порога ощущения запахов T_S при воздействии различных одоривекторов можно определять по значениям показателей аэродинамического носового сопротивления R и пневматической мощности дыхания N согласно формулам.

$$T_S = f(R, N),$$

причем

$$R = \frac{\Delta p}{Q}, \quad N = \Delta p \cdot Q,$$

где Q – расход воздуха (л/с), Δp – перепад давления, (Па). При нарушениях обоняния величины порогов ощущения и распознавания увеличиваются и их значения существенно зависят от типа и выбранных концентраций пахучих веществ.

Задавшись концентрациями пахучего вещества, целесообразно оценить ольфакторную чувствительность по энергетическому критерию дыхания при ощущении одоривектора.

Поэтому целесообразно рассчитать скорость испарения одоривекторов во время проведения ольфактометрического исследования. Испарение, обусловленное диффузионными процессами и теплопроводом от окружающей среды, определяется по эмпирическому выражению

$$W = 10^{-6} \eta \sqrt{MP},$$

где η - коэффициент, принимаемый в зависимости от скорости и температуры воздушного потока над поверхностью испарения;

P - давление насыщенного пара при расчетной температуре жидкости;

M - молярная масса паров жидкости, кг/кмоль.

Масса испарившейся жидкости:

$$G_{исп} = W \cdot F_{ж} \cdot \tau_u,$$

где $F_{ж}$ - - площадь поверхности испарения жидкости, м²;

τ_u - время испарения жидкости, с.

Если подставить уравнение (1) в уравнение (2), то количество паров поступивших вследствие испарения пролива можно определить по следующему выражению [10]

$$G_{исп} = 10^{-6} \cdot \eta \cdot P \cdot \sqrt{M} \cdot F_{ж} \cdot \tau_u,$$

В нормативных документах для количественной оценки массы испарившейся жидкости используются различные варианты уравнения (1). Однако для моделирования распространения аварийных выбросов опасных веществ интенсивность испарения определяется по формуле [10]:

$$I = \sqrt{M} \cdot 10^{-6} (5.38 + 4.1U) \cdot P \text{ кг/(м}^2\text{с)}$$

где M – молярная масса вещества г/моль;

P – давление насыщенного пара при данной температуре, кПа.

U – скорость воздуха над поверхностью испарения, м/с.

Давление насыщенного пара P зависит только от природы жидкости и ее температуры.

Для большинства жидкостей давление насыщенного пара при различной температуре известно. Эти данные сведены в справочные таблицы, номограммы. Давление насыщенного пара жидкостей можно рассчитать по формулам.

Давление насыщенных паров определяется тремя способами:

1. По номограмме
2. По справочным таблицам интерполяцией
3. По уравнению Антуана:

$$\lg P = A - \frac{B}{C + t},$$

где t – температура жидкости, °С;

A, B, C – эмпирические коэффициенты, определяемые по табличным данным.

При определении давления насыщенных паров по уравнению Антуана, коэффициенты А, В, С могут приводиться в справочнике в мм. рт. ст. или в кПа. После этого, определяют давление насыщенных паров при заданной температуре.

Таблица 1 – Некоторые константы уравнения Антуана [7]

Вещество	Константы			Температурный интервал значений констант уравнения Антуана, °С
	А	В	С	
Этиловый спирт	7,81158	1918,508	252,125	-94...-12
Уксусная кислота	7,10337	1906,53	255,973	-17 ...118
Аммиак	16,9481	2132,50	-32,98	-31...78

Определяем давление насыщенных паров по уравнению Антуана. Так как одоривектор «настойка валерьяны» на 70 % состоит из спирта, расчеты проведем для этилового спирта.

Исследования проводятся при температуре 20 °С, следовательно, давление насыщенного пара будет равно:

$$P_{\text{этил.спирт}}^{20} = 10^{\left(7,81158 - \frac{1918,508}{252,125+20}\right)} = 5,77 \text{ кПа},$$

$$P_{\text{уксус.кислота}}^{20} = 10^{\left(7,10337 - \frac{1906,53}{255,973+20}\right)} = 1,57 \text{ кПа}.$$

Молярная масса этилового спирта составляет – 46 г/моль, аммиака – 17,03 г/моль, уксусной кислоты – 60,05 г/моль.

Способ повышения объективности ольфактометрических исследований предполагает расчет энергии дыхания:

$$E = \int_{t_s}^{t_e} N(t) dt ,$$

$$N(t) = \Delta p(t) \cdot q(t)$$

где N - мощность дыхания.

В ходе экспериментальных исследований были выбраны основные объёмные расходы воздуха q при проведении ольфактометрического исследования, а именно $q = 1$ л/с, 2 л/с, 0,5 л/с, 0,3 л/с.

Скорость воздуха над поверхностью испарения можно вычислить исходя из формулы для определения гидравлического объёмного расхода газа[8]:

$$q = v \cdot S ,$$

v - скорость потока, м/с,

S - площадь поперечного сечения, м².

При типичных диаметрах расходомеров Вентури для риноманометрических измерений в пределах от 6 до 9 мм и соответствующем коэффициенте потерь давления в

диапазоне $1,8 \div 0,2$, суммарная площадь входных воздушных отверстий одоривекторной насадки должна составлять не менее $400-600 \text{ мм}^2$, что будет соответствовать на порядок меньшим значениям коэффициента потерь давления. Таким образом, можно рассчитать типичные скорости потока воздуха при проведении ольфактометрического исследования (см. табл. 2).

Таблица 2 – Расчет скоростей потока воздуха

	$S_1=400 \text{ мм}^2$	$S_2=500 \text{ мм}^2$	$S_3=600 \text{ мм}^2$
$v_1, q=1 \text{ л/с}$	2,5	2	1,7
$v_2, q=2 \text{ л/с}$	5	4	3,3
$v_3, q=0,5 \text{ л/с}$	1,25	1	0,83
$v_4, q=0,3 \text{ л/с}$	0,75	0,6	0,5

График зависимости скорости потока воздуха от площади воздушных отверстий одоривекторной насадки представлен на рис. 2.

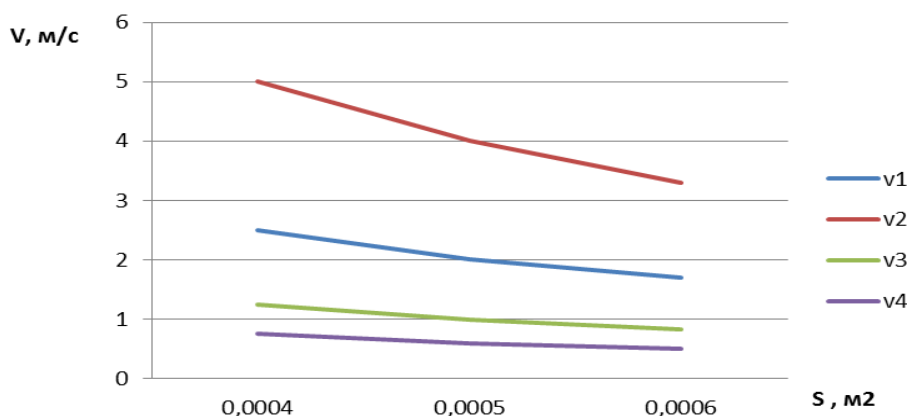


Рисунок 2 – График зависимости скорости потока воздуха от площади воздушных отверстий одоривекторной насадки

Таким образом, интенсивность испарения при рассчитанных скоростях воздушного потока может быть вычислена (см. табл.3-5). Графики зависимости интенсивности испарения одоривекторов от площади воздушных отверстий одоривекторной насадки представлены на рисунках 3-5.

Таблица 3 – Расчет интенсивности испарения этилового спирта

	$S_1=400 \text{ мм}^2$	$S_2=500 \text{ мм}^2$	$S_3=600 \text{ мм}^2$
$I_1, q=1 \text{ л/с}$	0,000611665	0,001012789	0,000411103
$I_2, q=2 \text{ л/с}$	0,00053144	0,000852339	0,000370991
$I_3, q=0,5 \text{ л/с}$	0,000483305	0,000740025	0,000343714
$I_4, q=0,3 \text{ л/с}$	0,000611665	0,001012789	0,000411103

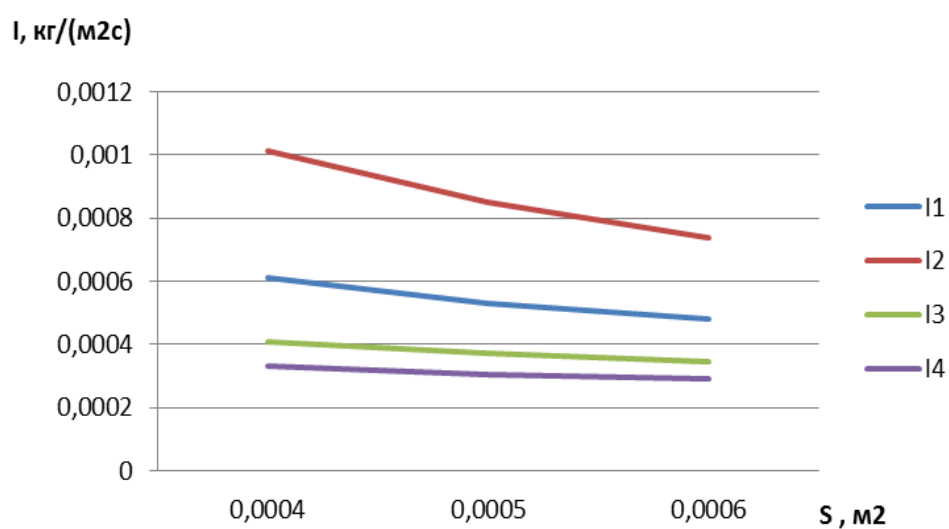


Рисунок 3 – График зависимости интенсивности испарения этилового спирта от площади воздушных отверстий одоривекторной насадки

Таблица 4 – Расчет интенсивности испарения уксусной кислоты

	$S_1=400 \text{ мм}^2$	$S_2=500 \text{ мм}^2$	$S_3=600 \text{ мм}^2$
$I_1, q=1 \text{ л/с}$	0,000189755	0,000314194	0,000127535
$I_2, q=2 \text{ л/с}$	0,000164867	0,000264418	0,000115091
$I_3, q=0,5 \text{ л/с}$	0,000149934	0,000229575	0,000106629
$I_4, q=0,3 \text{ л/с}$	0,000189755	0,000314194	0,000127535

Біоінженерія

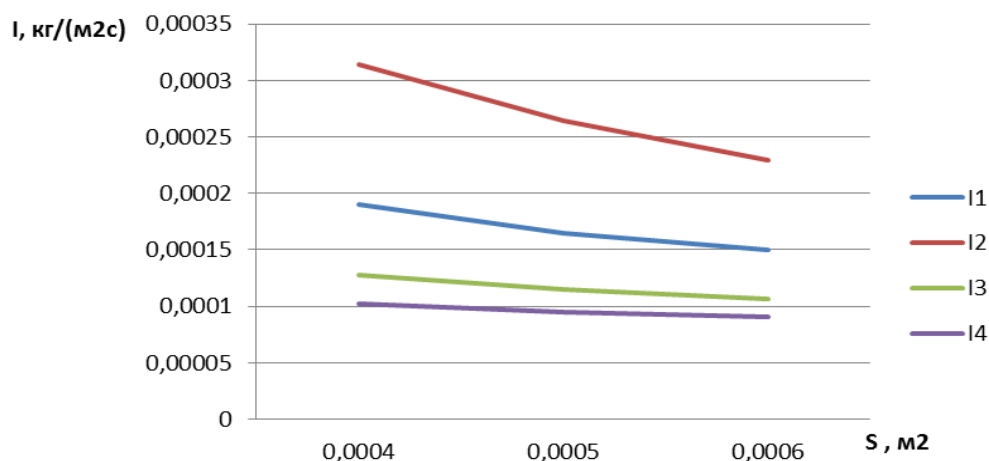


Рисунок 4 – График зависимости интенсивности испарения уксусной кислоты от площади воздушных отверстий одоривекторной насадки

Давление насыщенного пара для аммиака выбираем согласно справочным данным (10 атмосфер), так как константы уравнения Антуана представлены в температурном интервале от -94 до -12 °С, а ольфактометрическое исследование выполняется при 20 °С.

Таблица 5 – Расчет интенсивности испарения аммиака

	$S_1=400 \text{ мм}^2$	$S_2=500 \text{ мм}^2$	$S_3=600 \text{ мм}^2$
$I_1, q=1 \text{ л/с}$	65,86	109,04	44,26
$I_2, q=2 \text{ л/с}$	57,22	91,77	39,94
$I_3, q=0,5 \text{ л/с}$	52,04	79,68	37,01
$I_4, q=0,3 \text{ л/с}$	65,86	109,04	44,26

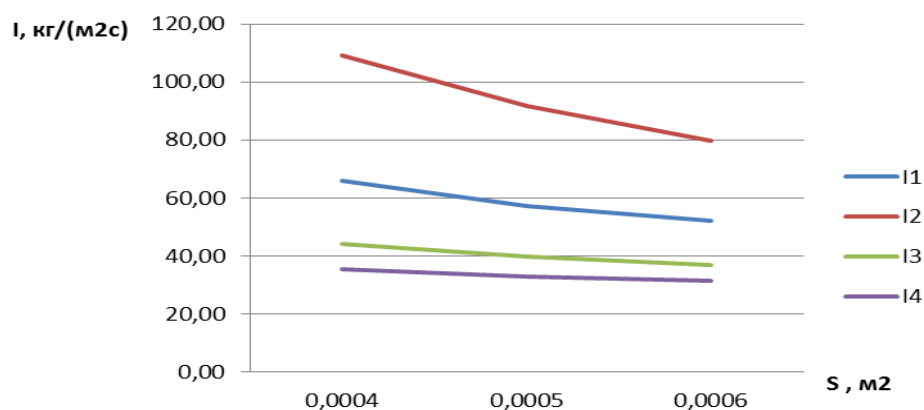


Рисунок 5 – График зависимости интенсивности испарения аммиака от площади воздушных отверстий одоривекторной насадки

ВЫВОДЫ

Таким образом, разработан способ, который за счет размещения носителя пахучего вещества в воздушном тракте риноманометра, а также процедур определения энергетических характеристик дыхания, позволил связать параметры дыхания с показателями обонятельной функции для обеспечения повышения объективности ольфактометрических исследований, что в свою очередь позволит проводить эффективное респираторно-обонятельное тестирование нарушений на доказательном уровне. При объективизации ольфактометрических исследований возможно варьировать такими показателями, как тип и концентрация пахучего вещества, а также пневматическая мощность дыхания и время проявления чувствительности к одоривектору. Это позволяет предложенный метод, учитывающий риноманометрические характеристики дыхания при действии пахучего вещества. Были произведены расчеты интенсивности испарения одоривекторов в зависимости от площади воздушных отверстий в одоривекторной насадке на риноманометр типа ТНДА-ПРХ. Определено, что наибольшая интенсивность испарения для всех одоривекторов соответствует наименьшей площади воздушных отверстий одоривекторной насадки ($S=400 \text{ мм}^2$) и наибольшему расходу воздуха ($q=2 \text{ л/с}$).

Список используемых источников:

1. Method of expression of certain bacterial microflora mucosa olfactory area / *O. G. Avrunin [et al.]* // *Optical Fibers and Their Applications* : proc. SPIE. – 2015. – Vol. 9816. – Mode of access: <http://openarchive.nure.ua/bitstream/document/2442/1/short-1.pdf>
2. Olfactometry diagnostic at the modern stage / *O. Avrunin [et al.]* // *Вісник Нац. техн. ун-ту «Харківський політехн. ін-т»* : зб. наук. праць. – Харків, 2016. – N 12 (1184). – С. 95–100. – (Серія : Нові рішення в сучасних технологіях)
3. Diagnostic tools in Rhinology EAACI position paper / *G. Scadding [et al.]* // *Clinical and Translational Allergy*. – 2011. – 1:2.
4. The use of statistical characteristics of measured signals to increasing the reliability of the rhinomanometric diagnosis / *Ya. Nosova [et al.]* // *Photonics Applications in Astronomy, Communications, Industry, and High-Energy Physics Experiments* : proc. SPIE : proceedings (Wilga, 28 September 2016 y.). – Wilga, 2016. – Vol. 10031. – P. [1–8].
5. Пат. 110452 Україна, МПК А 61 V 5/08 (2006.01). Пристрій для тестування респираторних порушень нюху / *Фарук Хушам Ісмаїл Саед, Журавльов А. С., Носова Я. В., Шушляпіна Н. О., Аврунін О. Г.* – № а201500603. – заявл. 26.01.2015; опубл. 25.12.2015, Бюл. № 24.
6. Пат. 110453 Україна, МПК А 61 V 5/08 (2006.01). Спосіб підвищення об'єктивності ольфактометричних досліджень / *Аврунін О. Г., Журавльов А. С., Носова Я. В., Фарук Хушам Ісмаїл Саед, Шушляпіна Н. О.* – № а201500604. – заявл. 26.01.2015; опубл. 25.12.2015, Бюл. № 24.
7. *Farouk, H.* Comparison Discriminate Characteristics Between Modern TNDA-PRH Rhinomanometer And Previously Methodology / *H. Farouk, O. Avrunin* // *International Journal of General Engineering and Technology (IJGET)*. – 2013. – Vol. 2, N 2. – P. 39–50.
8. *Старовойтова? Е. В.* Основы прогнозирования последствий аварийных залповых выбросов сжиженных газов: монография / *Е. В. Старовойтова, А. Д. Галеев, С. И. Поникаров*; М-во образ. и науки России, Казан. нац. исслед. технол. ун-т. – Казань : Изд-во КНИТУ, 2013. – 155 с.

9. Galeev, A. D. Numerical simulation of the formation of a toxic cloud on outpouring ejection of liquefied chlorine to the atmosphere / A. D. Galeev, E. V. Starovoitova, S. I. Ponikarov // Journal of Engineering Physics and Thermophysics. – 2013. – Vol. 86, N 1. – P. 219–228.
10. Ванчин, А. Г. Простая гидравлическая модель компрессорного цеха магистрального газопровода [Электронный ресурс] / А. Г. Ванчин // Нефтегазовое дело. – 2013. – N 1. – С. 273–280. – Режим доступа: <http://ogbus.ru/article/view/prostaya-gidravlicheskaya-model-kompressornogo-cexa-magistralnogo-gazoprovoda/23623>
11. Свойства вредных и опасных веществ, Обращающихся в нефтегазовом комплексе : справочник / Г. Ж. Литвинова [et al.]. – Воронеж: Газпроектинжиниринг, 2005. – 358 с.
12. Gordon, A. J. The Chemist's Companion : A Handbook of Practical Data, Techniques, and References / A. J. Gordon, R. A. Ford. – New Yor : Wiley, 1973. – 560 p.
13. The Role of Paranasal Sinuses in the Aerodynamics of the Nasal Cavities / H. F. Ismail [et al.] // International Journal of Life Science and Medical Research. Sept. – 2012. – Vol. 2, N 3. – P. 52–55.

Аврунін О. Г., Носова Я. В., Сорочан О. М.

ВИЗНАЧЕННЯ ІНТЕНСИВНОСТІ ВИПАРОВУВАННЯ ОДОРИВЕКТОРА ПІД ЧАС ПРОВЕДЕННЯ ОЛЬФАКТOMETРИЧНОГО ДОСЛІДЖЕННЯ

Був запропонований спосіб ольфактометрії, який дозволяє зв'язати параметри дихання з показниками нюхової функції для забезпечення підвищення об'єктивності ольфактометричних досліджень за рахунок розміщення носія пахучого речовини в повітряному тракті рінومانометрія, а також процедур визначення енергетичних характеристик дихання. При об'єктивізації ольфактометричних досліджень, можливо варіювати такими показниками, як тип і концентрація пахучої речовини, а також пневматична потужність дихання і час прояву чутливості до одоривектору. Запропонований метод задовольняє даним вимогам, так як враховує рінومانометричні характеристики дихання при дії пахучої речовини. Беручи до уваги, то що при типових діаметрах витратомірів Вентурі для рінومانометричних вимірювань в межах від 6 до 9 мм і відповідному коефіцієнті втрат тиску в діапазоні $1,8 \div 0,2$, сумарна площа входних повітряних отворів одоривекторної насадки повинна становити не менше 400-600 мм², були розраховані типові швидкості потоку повітря під час проведення ольфактометричного дослідження. Зроблені розрахунки інтенсивності випаровування одоривекторів в залежності від площі повітряних отворів в одоривекторної насадки на рінومانометрія типу ТНДА-ПРХ. Побудовано графіки залежності інтенсивності випаровування пахучих речовин від площі повітряних отворів одоривекторної насадки. Визначено, що найбільша інтенсивність випаровування для всіх одоривекторів відповідає найменшій площі повітряних отворів одоривекторної насадки ($S = 400 \text{ мм}^2$) і найбільшому витраті повітря ($q = 2 \text{ л / с}$).

Ключові слова: одоривектор, ольфактометрія, випаровування

Avrunin O. G., Nosova YA. V., Sorochan E. N.

DETERMINATION OF THE INTENSITY OF EVAPORATION OF THE ODORIVATOR DURING THE OLFACTOMETRIC EXAMINATION

Abstract. A method of olfactometry was proposed that allows one to connect the parameters of respiration with the parameters of the olfactory function to ensure an increase in the objectivity

of olfactometric studies by placing the carrier of an odorous substance in the airway of a rhinomanometer, as well as procedures for determining the energy characteristics of respiration. With the objectification of olfactometric studies, it is possible to vary such indicators as the type and concentration of an odoriferous substance, as well as the pneumatic power of respiration and the time of manifestation of sensitivity to the odorivector. The proposed method satisfies these requirements, since it takes into account the rhinomanometric characteristics of respiration under the action of an odorous substance. Taking into account that for typical diameters of the Venturi flowmeters for rhinomanometric measurements in the range from 6 to 9 mm and corresponding to the pressure loss coefficient in the range $1.8 \div 0.2$, the total area of the inlet air holes of the odorivector nozzle should be at least 400-600 mm², typical airflow velocities were calculated during the olfactometric study. Calculations of the intensity of evaporation of odorivectors as a function of the area of air openings in a odorivector nozzle on a rhinomanometer of the TNDA-PRH type were made. The graphs of the dependence of the intensity of evaporation of odoriferous substances on the area of the air holes of the odorivector nozzle are determined. It is determined that the greatest intensity of evaporation for all odorivectors corresponds to the smallest area of the air holes of the odorivector attachment ($S = 400 \text{ mm}^2$) and the greatest air flow ($q = 2 \text{ l/s}$).

Key words: *odorector, olfakometry, evaporation*

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Суглобов В. В.

Статья поступила 1.09.2016 р.

УДК 611.846.1

Скляр О. И., Сорочан Е. Н.

УСТРОЙСТВО ТРЕНИРОВКИ ГЛАЗОДВИГАТЕЛЬНЫХ МЫШЦ ГЛАЗ

Разработано устройство, позволяющее тренировать различные группы мышц глаз. Устройство реализуется на базе использования безусловного рефлекса глаза отслеживать светлый объект на темном фоне. Устройство реализует эффект «бегущей» точки. Светящаяся точка формируется последовательным включением одного светодиода в линейке.

Ключевые слова: *глаз, мышца, светодиод, точка «бегущая»*

Постановка проблемы. Широкое использование в повседневное жизни огромного количества различных электронных приборов, которые имеют встроенные дисплеи, приводит к тому, что глаза, постоянно смотрящие только в одном направлении, приобретают устойчивое напряжение прямых мышц и ослабление косых мышц. Этот эффект ведет к значительной усталости глаз и провоцируют развитие различных офтальмологических заболеваний. Различные офтальмологические проблемы, связанные с рассогласованной работой различных групп глазных мышц известны давно, задолго до появления электронных устройств, и поэтому соответственно были известны различные профилактические методы тренировки таких мышц. Наиболее известным является методом Вильяма Бейтса (1860-1930) [1]. Суть которого состоит в необходимости производить движение глазами в различных направлениях. Такая «гимнастики для глаз» дает очень хорошие результаты. Единственный ее недостаток в том, что человек очень быстро устает и бросает ее выполнять, т.к. это требует определенных усилий воли. Другое дело, если имеется некоторый прибор, который использует безусловный рефлекс глаза, например, видеть светлое пятно на темном фоне к тому же, если это пятно перемещается, то направление взора тоже изменяется. В таком

случае, усилий воли смотреть в том или ином направлении не требуется, а перемещающийся взор выполняет функцию тренировки различных мышц глаза. Таким образом, актуальность предупреждения развития офтальмологических заболеваний налицо, а создание соответствующих приборов крайне необходимо.

Анализ последних исследований и публикаций. Попытки автоматизации тренировки глазных мышц имеют место быть и создаются различные приборы, использующие световые стимуляторы. Известен прибор «Eyeport» [2] фирмы Mercola (US), представляющий из себя горизонтальную линейку с включенными световыми стимуляторами красного и синего цвета, но такая линейка находится в открытом помещении и поэтому внимание пациента в любом случае будет рассеиваться, хотя по сравнению с методикой самостоятельного выполнения упражнений это значительный шаг вперед. Второй недостаток указанного устройства это возможность тренировать только движение мышц глаз в горизонтальном направлении. Кроме того, в данном приборе используется два цвета: красный и синий, что с точки зрения цветовой восприимчивости глаза не лучший вариант. Для выполнения простых глазодвигательных упражнений это должен быть белый либо желтый цвет. Технически белый цвет создается с некоторыми трудностями, поэтому оптимальным может быть желтый цвет, к которому человеческий глаз наиболее восприимчив. Также не известен тип устройства, создающего световые стимулы в данном устройстве.

В 1987 году в США был зарегистрирован патент [3] на прибор, предназначенный для тренировки глаз. Именно этот патент позволял технически реализовать методику Бейтса. Здесь источником света являлись светодиоды, которые можно было включать в определенном порядке и в определенном заданном направлении.

В 2010 году автором был зарегистрирован патент [4] на офтальмологический тренажер, который основан на эффекте создания «бегущей точки», в качестве оптического стимула использовался «бегущий» светодиод на светодиоде поле. Траектория «движения» светодиода сохранялась в ПЗУ. Объем ПЗУ ограничивал количество различных траекторий, но зато позволял реализовать не только линейное «перемещение» светодиода, а любую запрограммированную траекторию. Кроме этого, достоинством данного изобретения было наличие блока управления скоростью «перемещения» светодиода.

Наличие ПЗУ можно отнести как к достоинствам, так и к недостаткам данного устройства. Достоинство – возможность реализации не только «бегущей точки», но и «прыгающей» с одного места в совершенно другое (противоположное) и т.п. Но, с другой стороны, при тренировке глазных мышц правильное последовательное перемещение (мягкое), не вызывающее резких сокращений различных групп мышц.

Цель исследования. Предложить устройство для тренировки глазных мышц достаточно простое, но позволяющее реализовать большинство глазодвигательных упражнений (кроме движений по окружности или по лемнискате).

Основной материал исследования. За основу взято использование эффекта «бегущей точки», созданное с помощью линейки светодиодов, которые включаются и выключаются последовательно. С помощью реверсивного счетчика «перемещение» светящейся точки легко организовать как в прямом, так и в реверсном направлении. Если добавить в управление прибора функцию поворота линейки со светодиодами на некоторый заданный угол, то в таком случае легко реализовать линейное «смещение» точки в любом направлении и, таким образом, сделать прибор, позволяющий проводить тренировку глазодвигательных мышц в любом направлении, самое главное, что в процесс тренировки будут включены все группы мышц. Функциональная схема такого устройства показана на рис. 1.

Все устройство реализуется на цифровой элементной базе [5]. На кафедре биомедицинской инженерии Харьковского национального университета радиоэлектроники имеется большой опыт создания подобных устройств для функциональной диагностики и терапии [5-7], и соответствующего программного обеспечения [8, 9]. Количество светодиодов в линейке определяет разрядность реверсивного счетчика. Переключение направления счета легко реализуется автоматически с использованием простой логики и выходов переноса реверсивного счетчика.

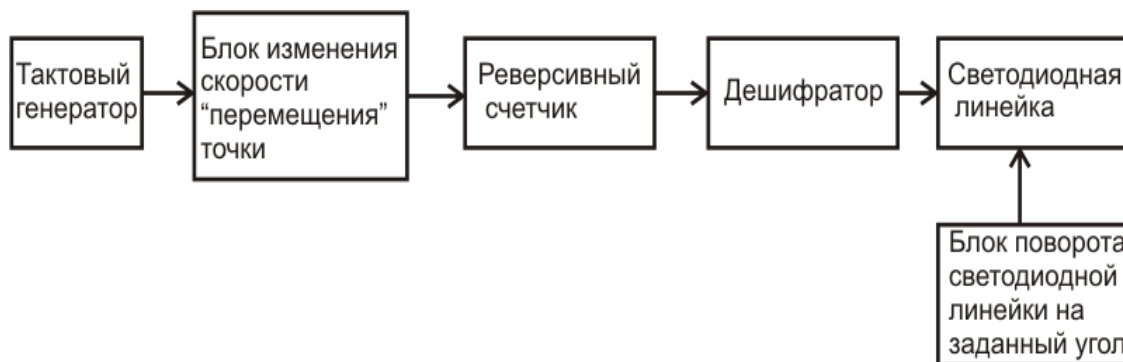


Рисунок 1 – Функциональная схема устройства

Если светодиоды на линейке расположить с большим шагом, то достаточно использовать лишь один счетчик, и, тогда, количество светодиодов в линейке будет 16, если же шаг сделать поменьше, то резонно использовать два счетчика с разрядностью 8, и тогда, количество светодиодов будет уже 256. Таким образом, можно организовать более плавное перемещение светящейся точки.

Особо надо сказать о блоке поворота светодиодной линейки. Этот блок может иметь как электронное, так и механическое управление. При закреплении середины линейки напротив прямого взгляда пациента вращение линейки можно выполнять как вправо, так и влево. Механическое перемещение (прокручивание линейки) существенно упрощает управление прибором пользователем, что делает прибор более удобным в эксплуатации и более дешевым при изготовлении.

Изготовление линейки в виде дуги улучшает полезные свойства прибора, т. к. при взгляде на конец линейки угол взора будет более острым, что приведет к улучшенной тренировке косых мышц глаза.

Предполагается, что дуговая линейка светодиодов располагается в полусфере, которая имеет темный фон, тогда при использовании устройства в полной мере будет реализован эффект движения светлой точки на темном фоне.

ВЫВОДЫ

Предлагаемое устройство может оказаться полезным для любого потребителя. Использование его в офтальмологических лечебных заведениях как профилактического средства очень желательно, а при проведении комплексного лечения его следует рекомендовать в дополнение к проводимой терапии. При производстве можно будет выполнить его полностью на микроконтроллерной базе, что придаст гибкость реализуемым тренировочным алгоритмам.

Список используемых источников

1. www.bateseyeexercises.com/basicInformation.php
2. <https://products.mercola.com/eyeport-eye-exercise/>
3. Пат. 4,838,677 United States. Eye exercising devices [Electronic resource] / M. J. Bronskill, Bai-Chuan Jiang. – Date of Patent: Jun. 13, 1989. – Mode of access: <https://patentimages.storage.googleapis.com/e5/78/3e/f6df17c7cbcae9/US4838677.pdf>
4. Пат. 90953 Україна, МПК (2009) А 61 Н 5/00, А 61 F 9/00, G 09 G 3/00. Офтальмологічний тренажер / Скляр О. І., Шитов В. М. – № а200813511; заявл. 24.11.2008; опубл. 10.06.2010, Бюл. № 11.
5. Сакало, С. М. Надвисокі частоти в медицині (терапія і діагностика): навч. посібник / С. М. Сакало, В. В. Семенець, О. Ю. Азархов. – Харків: ХНУРЕ; Колегіум, 2005. – 264 с.
6. Ismail Saied, H. F. An Attempt of the Determination of Aerodynamic Characteristics of Nasal Airways / H. F. Ismail Saied, A. K. Al Omari, O. G. Avrunin // Image Processing & Communications. Challenges 3, AISC Vol. 102. – P. 311–322. – Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2011.
7. Al_Omari, A. K. of Changes of the Hydraulic Diameter and Determination of the Air Flow Modes in the Nasal Cavity / A. K. Al_Omari, H. F. Ismail Saied, O. G. Avrunin // Image Processing & Communications. Challenges 3, AISC Vol. 102. – P. 303–310. – Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2011.
8. Построение персонализированной анатомической модели диафрагмы человека / В. Г. Дуденко [и др.] // Экспериментальна і клінічна медицина. – 2014. – № 2 (63). – С. 68–70.
9. Аврунин, О. Г. Принципы компьютерного планирования функциональных оперативных вмешательств / О. Г. Аврунин // Технічна електродинаміка. – 2011. – Темат. вип. : Силова електроніка та енергоефективність, ч. 2. – С. 293–298.

Скляр О. І., Сорочан О. М.

ПРИСТРІЙ ДЛЯ ТРЕНУВАННЯ МУСКУЛІВ ОКА

Розроблено пристрій дозволяє тренувати різні групи м'язів очей. Пристрій реалізується на базі використання безумовного рефлексу очі відстежувати світлий об'єкт на темному тлі. Широке використання в повсякденне життя величезної кількості різних електронних приладів з вбудованими дисплеями призводить до значної втоми очей.. Це веде до різних розладів зору і провокує розвиток різних офтальмологічних захворювань. Тому, метою роботи є розробка пристрою для тренування очних м'язів досить просте, але дозволяє реалізувати більшість окорухових вправ. Суть розробки полягає в необхідності проводити рух очима в різних напрямках.

За основу взято використання ефекту «біжить точки», створене за допомогою лінійки світлодіодів, які включаються і вимикаються послідовно. За допомогою реверсивного лічильника «переміщення» світиться точки легко організувати як в прямому, так і в реверсному напрямку. При додаванні в управління приладу функції повороту лінійки зі світлодіодами також легко реалізувати лінійне «зсув» точки в будь-якому напрямку і зробити пристрій, що дозволяє проводити тренування окорухових м'язів в будь-якому напрямку, і, найголовніше, при цьому в процес тренування будуть включені всі групи м'язів. Пристрій реалізується на цифровій елементній базі. Передбачається, що дугова лінійка світлодіодів розташовується в півсфері, яка має темний фон, тоді при використанні пристрою в повній мірі буде реалізований ефект руху світлої точки на темному тлі.

Пропонований пристрій може виявитися корисним для будь-якого споживача. Використання його в офтальмологічних лікувальних закладах як профілактичний засіб дуже бажано, а при проведенні комплексного лікування його слід рекомендувати на додаток до проведеної терапії. При виробництві можна буде виконати його повністю на мікроконтролерній базі, що додасть гнучкість реалізованим тренінговим алгоритмам.

Ключові слова: око, мускули, світлодіод, цятка рухома

Skliar O. I., Sorochan E. N.

DEVICE FOR EYE'S MUSCLE TRAINING

Abstract. A device has been developed that allows to train various muscle groups of the eyes. The device is based on the use of unconditioned reflex of the eye to track a light object on a dark background. The widespread use in everyday life of a huge number of various electronic devices with built-in displays leads to significant eye fatigue .. This leads to various visual impairments and provokes the development of various ophthalmologic diseases. Therefore, the aim of the work is to develop a device for training the eye muscles rather simple, but allowing to implement the majority of oculomotor exercises. The essence of the development is the need to make the movement of the eyes in different directions.

The basis for using the effect of «running point», created using a line of LEDs that turn on and off in series. With the help of the reverse counter, the “movement” of the luminous point is easy to organize both in the forward and in the reverse direction. When a ruler with LEDs is added to the instrument's control, it is also easy to realize a linear “displacement” of a point in any direction and make a device that allows training the eye muscles in any direction, and most importantly, all muscle groups will be included in the training process. The device is implemented on a digital element base. It is assumed that the arc line of LEDs is located in a hemisphere that has a dark background, then when using the device, the effect of the movement of a bright point on a dark background will be fully realized.

The proposed device can be useful for any consumer. Its use in ophthalmologic medical institutions as a prophylactic is very desirable, and when carrying out complex treatment it should be recommended in addition to the therapy. During production, it will be possible to execute it completely on a microcontroller base, which will give flexibility to the implemented training algorithms.

Key words: eye, muscle, light diode, running point

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Аврунин О. Г.

Статья поступила 1.09.2018 р.

УДК 616.075.73:616:849-053.2

Уданович Д. Г., Авер'янова Л. О.

ПРОГРАМНИЙ МОДУЛЬ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ ЩІЛЬНОСТІ ТРУБЧАСТИХ КІСТОК ЛЮДИНИ ЗА ЦИФРОВИМИ РЕНТГЕНОГРАМАМИ

Анотація. Наводиться опис функціональних можливостей програмного модулю для визначення щільності трубчастих кісток людини та аналіз його роботи в інтерактивному режимі. Розрахунок щільності кісткових структур здійснюється за результатом порівняльного аналізу рентгенівських зображень кістки та рентгенеквівалентного їй тест-

об'єкту з відомою щільністю.

Ключові слова: щільність кісткових структур, цифрова рентгенограма, аналіз програмний, денситограма, тест-об'єкт.

Вступ

За оцінкою Всесвітньої організації охорони здоров'я проблема остеопорозу по соціально-економічній та медичній значущості займає 4 місце після серцево-судинних, онкологічних захворювань і цукрового діабету. Серед літніх людей в Україні остеопороз у трапляється у 22 % у чоловіків і 53 % у жінок. Зменшення мінеральної насиченості кісткової тканини має різні причини [1, 2], проте наслідки цього порушення призводять до інвалідизації значної частини літніх хворих, чверть з яких передчасно помирає внаслідок ускладнень при лікуванні патологічних переломів, найчастіше – шийки стегнової кістки. Найбільш розповсюдженим і доказовим методом виявлення остеопоротичних змін є класична рентгенографія [1, 3, 4]. Проте відсутність єдиних засобів та підходів до аналізу рентгенівських зображень значно зменшує можливості об'єктивної оцінки динаміки зниження мінеральної насиченості кісткової тканини, що не дозволяє вчасно застосувати медикаментозну корекцію та оцінити її ефективність.

Застосування сучасних комп'ютерних технологій аналізу рентгенівських зображень [3-7] відкрило можливість розробки ефективних методів кількісної оцінки мінеральної щільності кісток, проте стримуючим чинником довгий час залишалась незначна розповсюдженість систем цифрової рентгенографії. Нині в Україні ці системи є доступними, проте вони обладнані лише універсальними програмними засобами обробки рентгенограм. За наявності відповідної методологічної бази [8] спеціалізовані програми для розрахунку фізичних параметрів кісткових структур, зокрема щільності, у клінічних умовах практично відсутні.

Розрахункові співвідношення

Розрахунок щільності кісткових структур [8] виконується із урахуванням закону Бугера, який визначає ступінь ослаблення рентгенівського випромінювання речовиною:

$$I = I_0 e^{-\mu y}, \quad (1)$$

де I – інтенсивність випромінювання, яке пройшло крізь речовину;

I_0 – початкова інтенсивність випромінювання;

m – лінійний коефіцієнт ослаблення випромінювання;

y – товщина шару проміненої речовини.

Якщо при ослабленні рентгенівського випромінювання різними речовинами 1 та 2 утворюється однакова решта інтенсивності I , то можна стверджувати, що

$$e^{-\mu_1 y_1} = e^{-\mu_2 y_2}; \quad \mu_1 y_1 = \mu_2 y_2; \quad \frac{\mu_1}{\mu_2} = \frac{y_1}{y_2}. \quad (2)$$

За (2) знаходяться співвідношення лінійних коефіцієнтів ослаблення за співвідношенням товщин двох речовин у напрямку дії випромінювання.

З іншого боку, масові коефіцієнти μ_m ослаблення двох речовин зі щільностями ρ_1 та ρ_2 співвідносяться як

$$\frac{\mu_1}{\rho_1} = k \frac{\mu_2}{\rho_2}, \quad \frac{\mu_1}{\mu_2} = k \frac{\rho_1}{\rho_2}, \quad k = \frac{\mu_{m1}}{\mu_{m2}}, \quad (3)$$

де k – константа відношення масових коефіцієнтів ослаблення двох речовин у заданому діапазоні енергій.

З (3) отримаємо зв'язок між величинами щільності та товщини відповідних речовин

$$\frac{y_2}{y_1} = k \frac{\rho_1}{\rho_2},$$

звідки знайдемо щільність невідомої речовини за відомою речовиною

$$\rho_2 = k \frac{\rho_1 y_1}{y_2}. \quad (4)$$

За виразом (4) визначенню підлягають величини товщин речовин та константи k для кожної конкретної структури та режиму рентгенографії. У [8] наведено співвідношення параметрів (2, 3) кортикальної кісткової тканини та алюмінію та розраховано k для значень енергії рентгенівського випромінювання 10 кеВ, 15 кеВ та 20 кеВ, що відповідає різним за жорсткістю режимам рентгенографії кісток людини. При цьому визначена константа k (3) для пари речовин «кортикальна кістка - алюміній» $k_{Al-кк} \approx 0,88$, для речовин «м'які тканини-алюміній» $k_{Al-м.тк} \approx 5,6$. Надалі залишається програмно визначити товщину кортикального шару кістки $y_{кк}$ (за математичною моделлю) та співвіднести з товщиною ступінчастого алюмінієвого тест-об'єкту y_{Al} (Рис. 1), що і дасть змогу розрахувати щільність кортикальної кісткової тканини.

$$\rho_{кк} = \frac{0,88 \rho_{Al} y_{Al}}{y_{кк}} \quad (5)$$

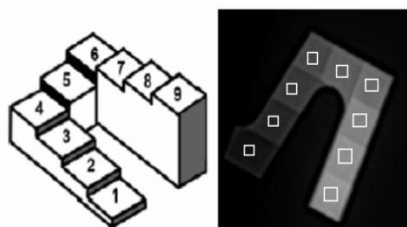


Рисунок 1 – Ступінчастий алюмінієвий тест-об'єкт [5]

Отже, завданням даної роботи було створення програмного модулю та інструментів для визначення невідомих у (5) величин за рентгенограмою трубчастої кістки людини. Крім того, для порівняння товщин кістки та тест-об'єкту, які дають однакову яскравість на рентгенограмі, необхідно програмно побудувати профілі яскравості (денсітограми) кістки та тест-об'єкту та визначити відповідні товщини.

Результати роботи

Розроблено методику та алгоритм програмного розрахунку щільності кісткової тканини (Рис. 2). Програмний модуль реалізовано у середовищі Delphi.

Розрахунок абсолютних значень товщини кістки та тест-об'єкту відбувається з урахуванням розрізнення цифрового рентгенівського зображення, яке має бути не нижчим за 300 dpi. Розрізнення вказується у вікні біля напису «Dpi» і далі розрахунок розміру пікселя в мм проводиться при натисканні кнопки «Calculate» (Рис. 3).

Цифрова рентгенограма спочатку аналізується у місці розташування тест-об'єкту (Рис. 1). На кожній сходинці виділяється прямокутна зона для визначення усередненої яскравості зображення сходинки (Рис. 1), надалі за цими значеннями із застосуванням лінійної інтерполяції будується денсітограма тест-об'єкту. Всі ці дії проводяться у режимі

«D» (денситограма). Саме цей етап аналізу зображення і є оригінальним, він дозволяє надалі визначити товщину алюмінієвого тест-об'єкту уAl, яка за яскравістю на зображенні буде еквівалентна певній товщині кортикальної кістки u_{kk} (5).

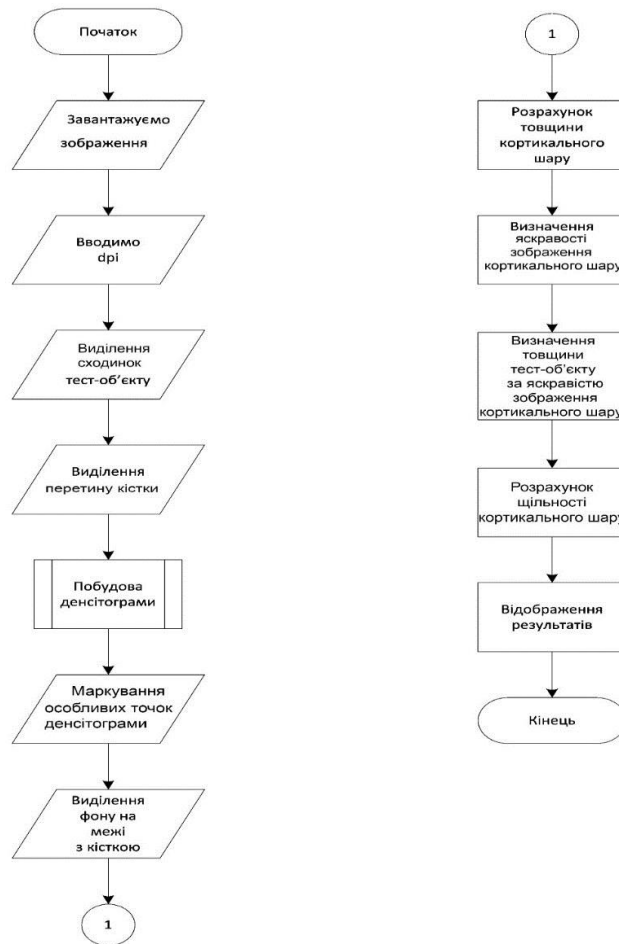


Рисунок 2 – Алгоритм розрахунку щільності кісткової тканини за аналізом рентгенограми

Наступним етапом є аналіз фрагменту рентгенограми трубчастої кістки у середній частині (діафізі). Виділяється прямокутна зона у перетині діафізу для автоматичної побудови усередненої денситограми кістки у перерізі. Надалі, відповідно до математичної моделі, наведеної у [8] визначаються і маркуються точки розмежування зображень м'яких тканин, кортикального шару кістки та її медулярної порожнини. Після цього можливо розрахувати внутрішній d_k та зовнішній D_k діаметр кортикального шару у діафізі, і, відповідно, товщину кільця кортикального шару. Розрахунок щільності кістки проводиться за значенням яскравості у середині денситограми, де товщина кортикального шару становить $(D_k - d_k)$.

У розробленій програмі було проаналізовано рентгенівські знімки кисті людини з прогресуючим остеопорозом та без нього на тій же ділянці діафізу. Значенням щільності кортикальної тканини у нормі вважається $1,2 \text{ г/см}^3$ [8]. Менші значення свідчатимуть про незавершену або порушену мінералізацію відповідних кісткових структур. Наведені робочі вікна програми з результатами роботи програми для рентгенограми кисті при нормальному кістковому здоров'ї (Рис. 3а) та з прогресуючим остеопорозом (Рис. 3 б).

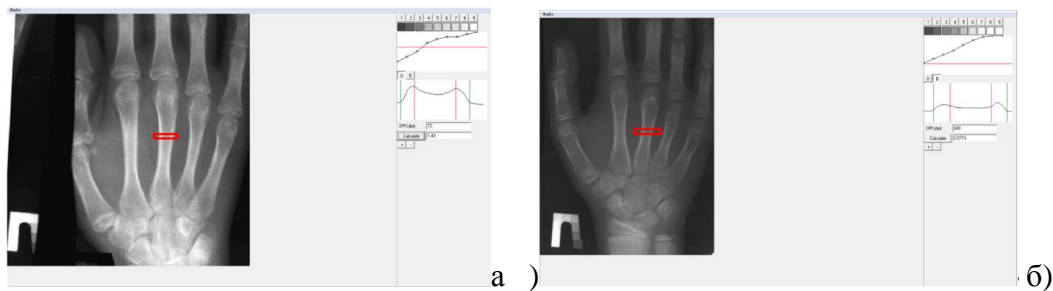


Рисунок 3 – Робочі вікна програми з результатами розрахунків при аналізі рентгенограми кисті у нормі (а) та порушенні мінералізації кісток (б)

У першому випадку отримали результат, що дорівнює $1,42 \text{ г/см}^3$, що можна вважати нормальним. Результатом розрахунку у випадку зниженої мінералізації стало значення $0,077 \text{ г/см}^3$.

Отримані результати дозволяють отримати значення не так званої рентгенооптичної мінеральної щільності кістки у г/мм^2 , яка довгий час використовувалась у рентгенології, а значення фізичної щільності кістки у г/мм^3 .

ВИСНОВКИ

В роботі наведено методику розрахунку щільності кісткової структури за її рентгенограмою, описано алгоритм та результати роботи створеного для цього програмного модулю. Цей програмний модуль потребує подальшого тестування на більших масивах рентгенологічних даних. Також надалі слід провести перевірку відповідності між розрахованим за рентгенограмою значенням щільності кістки та її реальною фізичною щільністю. Розроблений програмний засіб можливо рекомендувати для проведення скринінгового денситометричного аналізу в клінічних закладах та діагностичних центрах.

Список використаних джерел

1. Казимирко, В. К. Остеопороз: патогенез, клиника, профилактика и лечение / В. К. Казимирко, В. Н. Коваленко, В. И. Мальцев. – 3-е изд. – Киев : МОРИОН, 2007. – 160 с.
2. Минеральная плотность костной ткани у подростков с нарушением осанки / О. Ю. Бубнов [и др.] // Проблема остеопороза в травматологии и ортопедии : материалы III конф. с междунар. участием (Москва, 14-15 февраля 2006 г.). – М., 2006. – С. 76.
3. Аврунин, О. Г. Принципы компьютерного планирования функциональных оперативных вмешательств / О. Г. Аврунин // Технічна електродинаміка. – 2011. – Темат. вип. : Силова електроніка та енергоефективність, ч. 2. – С. 293–298.
4. Построение персонализированной анатомической модели диафрагмы человека / В. Г. Дуденко [и др.] // Экспериментальна і клінічна медицина. – 2014. – № 2 (63). – С. 68–70.
5. Программный модуль для автоматизированного определения морфометрических индексов остеопороза / С. А. Шармазанов [и др.] // Медицина и – 2001. – № 1 (7). – С. 59–61.
6. Аврунин, О. Г. Реконструкция объемных моделей черепа и имплантата по томографическим снимкам / О. Г. Аврунин, Е. О. Шамраева // Системи обробки інформації : зб. наук. пр. – Харків, 2007. – Вип. 9 (67). – С. 137–140.

7. Шамраева, Е. О. Выбор метода сегментации костных структур на томографических изображениях / Е. О. Шамраева, О. Г. Аврунин // Бионика интеллекта: информация, язык, интеллект. – Харьков, 2006. – № 2 (65). – С. 83–87.

8. Шармазанова, О. П. Визначення показників мінеральної щільності стегнової кістки за даними рентгенівської денситометрії у дітей раннього віку / О. П. Шармазанова, Л. О. Авер'янова, Т. О. Арсенідзе // ScienceRise : Medical Science. – 2017. – № 8. – Р. 4–8.

Уданович Д. Г., Аверьянова Л. А.

ПРОГРАММНЫЙ МОДУЛЬ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПЛОТНОСТИ ТРУБЧАТЫХ КОСТЕЙ ЧЕЛОВЕКА ПО ЦИФРОВЫМ РЕНТГЕНОГРАММАМ

Приводится описание функциональных возможностей программного модуля для определения плотности трубчатых костей человека и анализ его работы в интерактивном режиме. Расчет плотности костных структур осуществляется по результатам сравнительного анализа рентгеновских изображений кости и рентгеноэквивалентного ей тест-объекта с известной плотностью.

Ключевые слова: плотность костных структур, цифровая рентгенограмма, анализ программный, денситограмма, тест-объект.

Udanovych D. G., Averianova L. O.

SOFTWARE MODULE FOR DETERMINING THE DENSITY OF HUMAN TUBULAR BONDS ON DIGITAL RADIOGRAMS

The analysis of the capabilities of existing methods for quantitative assessment of the density of cortical bone tissue of human tubular bones by X-ray image was carried out. The correspondence between the density of bone tissue and the aluminum step X-ray equivalent test object was determined in accordance with the Bouguer law from the condition of equality of brightness of their images. For the final density calculation, it is necessary to determine the thickness of the cortical layer and the test object in the analyzed fragment of the X-ray image. The exact determination of the thickness of the aluminum layer for a given brightness is made as a result of the construction and approximation of the densitogram of the stepped test object and taking into account its real physical dimensions. A description of the method for analyzing the image of a test object is given. The thickness of the cortical bone is determined on the basis of its mathematical model from the condition that in the diaphysis the cortical layer has a tubular shape that is close to cylindrical. When a computer analysis of a fragment of the x-ray of the bone in the diaphysis is used to build its densitogram, the extremums of the curve are analyzed, which determine the internal and external diameters of the bone. This allows you to calculate the thickness of the bone in the center of the diaphysis as the double thickness of the ring. The corresponding value of the brightness of the image of the bone at this point is compared with the brightness of the image of the test object. A software module for the automated construction of densitograms and the determination of the density of tubular bones has been developed, a description of its functionality and an algorithm for its work in an interactive mode are given. The calculation of the density of bone structures is carried out according to the results of a comparative analysis of the densitograms of x-ray images of the bone and the test object with a known density.

Keywords: density of bone structures, digital X-ray, software analysis, densitogram, test object.

Рецензент: д-р техн. наук, профессор Щетинина В. И.

Статья поступила 30.08.2018 г.

УДК 004.42

Мироненко Д. С.¹, Кунак В. А.²

МОДЕЛЬ ПОСТРОЕНИЯ СЕМАНТИЧЕСКОГО ЯДРА САЙТА

В статье приводится описание методов построения семантического ядра. Были описаны основные критерии выбора ключевых слов. На этой основе предложен метод построения семантического ядра. Рассмотрен способ выбора ключевых слов и их расстановка по приоритетности. Проанализированы какие мета-теги являются наиболее приоритетными для формирования первичного списка слов и словосочетаний. Проведен анализ ключевых слов с использованием Adwords. Выполнен анализ списка полученных слов и словосочетаний, проведена «очистка» и расстановка слов по частоте запроса в порядке убывания.

Ключевые слова: семантическое ядро, поисковая система, частота запроса, метатеги

Вступление. Один из первых шагов внутренней оптимизации – это составление семантического ядра сайта. Семантическое ядро сайта (СЯС) – это список целевых запросов, вводимых пользователями в строку поиска поисковых систем. Эти запросы, по сути, и определяют тематику сайта. Именно с создания семантического ядра начинается любая раскрутка сайта, ведь при его отсутствии продвижение в поисковых системах окажется просто неэффективным.

Достижение успеха в продвижении, а следовательно, и достижение продаж невозможно без оптимизации самого сайта под поисковые системы. Оптимизация сайта под поисковые системы – это приведение внутреннего содержимого сайта (кода его страниц) к требованиям поисковых систем. К сожалению, в последние годы многие компании и частные оптимизаторы уделяют мало внимания оптимизации самого сайта либо проводят ее только частично: оптимизируют лишь те страницы, которые продвигаются в поисковых системах (как правило, это пара десятков страниц). «Частичная» оптимизация – это неверный подход. Оптимизация должна быть проведена на всем сайте [1, 2].

Анализ последних исследований и публикаций. Традиционный метод составления семантического ядра начинается с того, что необходимо составить первичный список базовых слов и словосочетаний. При составлении списка обычно используют такие методы:

— составить список, представив себя на месте пользователя, которому нужна предлагаемая на сайте информация;

— посоветоваться со специалистом в данной теме, который может подсказать наиболее устойчивые слова и словосочетания, используемые профессионалами, а также жаргонизмы;

— опросить нескольких потребителей. Постараться выяснить, с помощью каких слов и фраз они стали бы искать информацию о нужном продукте или услуге в Интернете;

¹ кан. техн. наук, ГВУЗ «Приазовский государственный технический университет», г. Мариуполь, mironenko_ds@ukr.net

² бакалавр, ГВУЗ «Приазовский государственный технический университет», г. Мариуполь, vladkunak@gmail.com

—тщательно просмотреть свой сайт и сайты конкурентов, выделив все подходящие словосочетания для дальнейшей проверки [1].

Благодаря ассоциированным запросам можно легко расширить первичный список слов, зная одно-два главных слова. Из поисковой системы можно получить информацию о том, по каким еще словам необходимо делать запросы для составления семантического ядра [1].

Внутреннее ссылочное ранжирование. Этот метод предполагает размещение ссылок внутри сайта на наиболее важные его страницы с ключевыми словами. Оно помогает добиться более высоких результатов в поисковых системах для тех страниц, на которые размещены ссылки, так как поисковые системы воспринимают и учитывают ссылки и тексты ссылок, размещенные внутри самого сайта.

Есть три основных варианта реализации:

—ссылки со всех страниц на несколько других страниц;

—карта сайта, ссылки на нее со всех страниц, ссылки с карты сайта только на наиболее важные страницы;

—гиперссылки внутри страниц сайта на другие страницы этого же сайта [3].

Это лишь малая часть методов построения семантического ядра. Составить семантическое ядро для сайта можно как с помощью бесплатных методов, так и платных. Конечно, платные значительно экономят время, но большинство начинающих не готовы тратить денежные средства на специальное ПО [4]. Исходя из существующих вариантов, предложена своя модель для построения семантического ядра.

Целью данной статьи является построение модели семантического ядра сайта для улучшения его ранжирования в поисковых системах. Данная модель может быть применена в дальнейшем в автоматизированных системах SEO оптимизации.

Изложение основного материала. Семантическое ядро сайта представим в виде пятерки:

$$SK = \langle \{K\}, \{P\}, \{W_1\}, \{W_2\}, \{W_3\} \rangle$$

где $\{K\}$ – множество слов и словосочетаний (keywords), $\{W_1\}, \{W_2\}, \{W_3\}$ – множество интегральных весов слов и словосочетаний (weights) по соответствующим критериям повторов слов в тексте контента, $\{P\}$ – множество приоритетов.

Множество ключевых слов $\{K\}$ включает в себя следующие подмножества:

$K_1 \subset K$ – слова существительные из заголовка сайта (тег <title>) и мета тегов (<description>, <keywords>);

$K_2 \subset K$ – слова существительные из заголовков основного контента (теги <H1>, ..., <H6>);

$K_3 \subset K$ – слова существительные из основного контента (теги ,).

Так как каждый элемент множества уникален, и во множестве не может быть двух идентичных элементов, то при добавлении в исходное подмножество очередного элемента он проверяется на уникальность.

Каждому элементу k из полученного множества $\{K\}$ в соответствие ставится приоритет P_i согласно (1).

$$P_i = \begin{cases} 1, & \text{IF } k_i \in K_1 \\ 2, & \text{IF } k_i \in K_2, \forall i \in [1, n] \\ 3, & \text{IF } k_i \in K_3 \end{cases} \quad 1)$$

где n – мощность множества K (количество ключевых слов и словосочетаний); k_i – очередной элемент множества; $K_1 \dots K_3$ – подмножества множества K .

Как показала практика, наиболее важные html-теги, связанные с ранжированием страниц сайта в поисковых системах, это теги <title>, <description>, <keywords>, <h1>. Соответственно им будет присвоен высокий приоритет. Следом за ними теги <h2>, ... <h6> – средний приоритет. В низкий приоритет входят теги и , который выделяют ключевые слова в тексте нашего документа.

Множество весов ключевых слов и словосочетаний $\{W\}$ включает в себя следующие подмножества:

$w_i^1 \in W_1$ – относительный вес, характеризующий встречаемость слов запроса в документе, который определяется по формуле (2):

$$w_i^1 = \begin{cases} \frac{\text{count}(K_i)}{n}, \forall K_i \in Z, \forall i \in [1, n] \\ 0, \forall K_i \notin Z \end{cases} \quad 2)$$

где n – мощность множества K (количество ключевых слов и словосочетаний), Z – множество слов строки запроса; K_i – ключевое слово.

$w_i^2 \in W_2$ – относительный вес, характеризующий встречаемость пар слов запроса в документе, который определяется по формуле (3):

$$w_i^2 = \begin{cases} \frac{\text{count}(K_i \cup K_j)}{n}, \forall (K_i \in D) \cap (K_j \in D), i \in [1, n], j \in [1, n], \\ 0, \forall (K_i \notin D) \cup (K_j \notin D) \end{cases} \quad 3)$$

где n – мощность множества K (количество ключевых слов и словосочетаний), K_i, K_j – ключевые слова; D – множество слов в документе.

$w_i^3 \in W_3$ – относительный вес, характеризующий встречаемость текста запроса целиком, который определяется по формуле (4):

$$T = \bigcup_{i=1}^n Z_i, \quad 4)$$

$$w_i^3 = \begin{cases} \frac{\text{count}(T)}{n}, \forall T \in D; \\ 0, \forall T \notin D \end{cases};$$

где n – мощность множества K (количество ключевых слов и словосочетаний), Z_i – слова запроса пользователя; D – множество слов в документе, T – текст запроса пользователя целиком.

На основании полученных относительных весов определим интегральный показатель веса I_i по формуле (5):

Інформаційні технології

$$I_i = P_i \cdot (w_i^1 + w_i^2 + w_i^3). \quad 5)$$

На основании проведенных расчетов список ключевых слов и фраз дополнился интегральным показателем веса I_i , благодаря которому мы можем упорядочить наш список по убыванию данного показателя согласно формуле (6):

$$f(K_i) \geq f(K_j), \quad 6)$$

где $f: \begin{cases} I_i \geq I_j \\ i, j = 1, 2 \dots n \\ i < j \end{cases}$

Используя полученный список ключевых слов необходимо получить частоту запросов F^A , используя сервис Google Adwords. Затем стоит провести «очистку» тех запросов, которые не соответствуют направленности интернет-ресурса. Необходимо отбросить ВЧ запросы с низким чистым спросом и нетематическим шлейфом.

Используя сервис Google Adwords, для каждого слова или словосочетания из списка определяем F_i^A – базовую частоту запроса, U_i^A – частоту запроса по точной фразе.

Исходя из полученных данных, определим относительную частоту R_i^A по формуле (7):

$$R_i^A = \frac{U_i^{A^2}}{F_i^A}, \forall i \in [1, n] \quad 7)$$

Слова, относительная частота которых $R_i^A < 100$, удаляются из списка. Это обусловлено [4] тем, что при $R_i^A < 100$ – неподходящие ключевые фразы, $100 \leq R_i^A \leq 1000$ – оптимальные ключевые фразы с наличием трафика, $1000 < R_i^A \leq 10000$ – отличные ключевые фразы, которые позволяют получать значительную долю трафика, $R_i^A > 10000$ – ключевые фразы высшей категории с мега-порциями трафика и большим количеством аудитории.

В результате нами получен список ключевых слов и словосочетаний, образующих семантическое ядро сайта.

ВЫВОДЫ

Реализация данной модели, в том числе с использованием сервиса Google Adwords, позволяет сформировать список самых оптимальных ключевых слов и словосочетаний для сайта. Данная модель построения семантического ядра, существенно сокращает время оптимизации сайта, а также является достаточно универсальной и с небольшими доработками может быть применена специалистами по SEO для эффективного продвижения сайтов с динамическим контентом.

Список использованных источников:

1. Ашманов, И. А. Оптимизация и продвижение сайтов в поисковых системах / И. С. Ашманов, А. В. Иванов. – [3-е изд.]. – СПб. : Питер, 2011. – 464 с.
2. SEO : руководство по внутренним факторам / Л. Гроховский [и др.]. – М. : ТопЭксперт.РФ, 2011. – 133 с.

3. *Севастьянов, И. О.* Поисковая оптимизация. Практическое руководство по продвижению сайта в Интернете / *И. О. Севастьянов.* – СПб. : Питер, 2010. – 240 с.

4. Как составить семантическое ядро сайта [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://great-world.ru/kak-sostavit-semantic-kernel/>

Міроненко Д. С., Кунак В. О.

МОДЕЛЬ ПОБУДОВИ СЕМАНТИЧНОГО ЯДРА

У статті наводиться опис методів побудови семантичного ядра. Були описані основні критерії вибору ключових слів. У статті з'ясовані особливості методу внутрішнього посилального ранжирування. Метою статті є аналіз і пошук методів побудови семантичного ядра і вибір найбільш оптимального. Приділено увагу створенню методології впровадження семантики в web-сайт, розглянуто методіку та етапи складання семантичного ядра.

Представлені найбільш актуальні способи і методи просування сайту і підняття його на високі позиції в пошуковій системі. Ефективне просування сайту неможливе без автоматизації і були проаналізовані методи. На цій основі запропоновано метод побудови семантичного ядра. Розглянуто спосіб вибору ключових слів і їх розстановка по пріоритетності. Ознайомлення з асоційованим запитами за допомогою яких можна легко розширити первинний список слів Ретельно переглянути свій сайт і сайти конкурентів, виділивши всі відповідні словосполучення для подальшої перевірки.

Проаналізовано які мета-теги є найбільш пріоритетними для формування первинного списку слів і словосполучень. Проведено аналіз ключових слів з використанням Adwords. Виконаний аналіз списку отриманих слів і словосполучень, проведена «очищення» і розстановка слів по частоті запиту в порядку убывання. Реалізацій передбачуваної моделі дозволить якісно відібрати необхідні ключові слова (keywords) і провівши аналіз в Adword, видати список найбільш оптимальних для сайту. Отримання списку найбільш оптимальних ключових слів, що стосуються тематики сайту. Грамотно складене семантичне ядро – запорука успішного просування сайту в пошукових системах. Семантичне ядро дозволяє найбільш ефективно оптимізувати сайт, керуючи пріоритетністю сторінок або розділів.

***Ключові слова:** семантичне ядро сайту, пошукова система, частота запиту, метатеги*

Mironenko D. S., Kunak V. A.

THE MODEL OF BUILDING A SEMANTIC KERNEL

The article describes the methods of constructing a semantic kernel. Have been described the main criteria for the choice of keywords. The article clarifies the features of the method of internal reference ranking. The purpose of the article is to analyze and search for methods of building a semantic kernel and the choice of the most optimal. Attention is paid to the creation of the methodology for the introduction of semantics in the web-site, the methodology and stages of the semantic kernel. The most relevant ways and methods of website promotion and raising it to a high position in the search engine are presented. Effective website promotion is impossible without automation and methods have been analyzed. On this basis, a method of constructing a semantic kernel is proposed. The method of selection of keywords and their prioritization is considered. Familiarization with the associated queries with the help of which you can easily

expand the primary list of words carefully view your site and competitors ' sites, highlighting all the appropriate phrases for further verification. Analyzed what meta tags are the highest priority for the formation of the primary list of words and phrases. The analysis of keywords using Adwords. The analysis of the list of received words and phrases is executed, «cleaning» and arrangement of words on frequency of inquiry in descending order is carried out. Implementations of the proposed model will allow you to select the necessary keywords (keywords) and analyze in Adword, to give a list of the most optimal for the site. Getting a list of the most optimal keywords related to the site theme. Well-composed semantic core-the key to successful website promotion in search engines. The semantic engine allows you to optimize your site most efficiently by controlling the priority of pages or sections.

Keywords: *semantic kernel of site, search engine, query frequency, meta tags*

Рецензент: доцент, канд. техн. наук Левицкая Т. А.

Статья поступила

УДК 004.4

© Филатов А. С.¹

АНАЛИЗ МЕТОДОВ ОЦЕНКИ КРЕДИТОСПОСОБНОСТИ ЗАЕМЩИКОВ И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ В СОВРЕМЕННЫХ СИСТЕМАХ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ

Выполнен анализ существующих моделей оценки кредитного риска. Рассмотрены следующие модели оценки кредитоспособности заёмщика: логико-вероятностный подход, байесовские сети, нейронные сети, метод ближайших соседей, деревья классификации, генетические алгоритмы, линейное программирование, дискриминантный анализ, множественная регрессия, байесовский подход, кредитный скоринг.

Установлено, что для построения модели оценки кредитоспособности физического лица, в основе которой, с одной стороны, лежит принцип системности (заемщик рассматривается как система взаимосвязанных характеристик), а с другой, нечетко-множественный подход, необходимо реализовать следующие этапы: определить факторы, влияющие на кредитоспособность заемщика, определить значимость влияния факторов на кредитоспособность, построить нечетко-множественный классификатор (данный этап предполагает определение лингвистических переменных и их терм - множеств, а также определение вида функции принадлежности на основании собранной квазистатистики), определить кредитный рейтинг заемщика агрегированием факторов модели.

Итак, нами установлено, что наиболее подходящей моделью оценки кредитного риска является модель с учетом факторов нечеткости и недоопределенности, а именно, нечеткая скоринговая модель.

Ключевые слова: *кредитоспособность, клиент, нечеткая скоринговая модель, заёмщик, кредит, банк, блок принятия решений.*

Постановка проблемы. Острой проблемой в XX-XXI ст. стало изучение рисков. Общество, которое, не смотря на все принятые меры, не смогло предотвратить глобальные конфликты, международные кризисы, экологические катастрофы, в конце концов, осознало необходимость обязательной оценки риска в каждом виде деятельности, прежде чем

¹ студент, группы КН-17-М, ГВУЗ «Приазовский государственный технический университет», г. Мариуполь, sanyanysa@mail.ru

принимать решения, направленные на его реализацию.

Важная роль в экономических преобразованиях отведена банкам, которые регулируют денежный оборот страны, аккумулируют денежные ресурсы и перераспределяют их. Одновременно банки владеют рычагами влияния на финансовую, инвестиционную, производственную и другие сферы экономики, а также на развитие экономических и общественных отношений.

В процессе своей активной деятельности банки сталкиваются с различного рода рисками. Неэффективное управление рисками в банковской деятельности может привести учреждение к банкротству, а в силу его положения в экономике, и к целому ряду банкротств, связанных с ним предприятий, банков и частных лиц.

Основным видом деятельности банка является кредитная, которая обеспечивает в среднем 50 % доходности всех активов, и, как правило, высокая доходность непосредственно сопровождается повышенным риском. С увеличением объемов кредитования актуализируются и задачи управления кредитным риском банка. В этой связи разработка методов оценки и механизма регулирования кредитных рисков обеспечивает укрепление финансового положения банка.

Анализ последних исследований и публикаций. Исследованию теоретических проблем управления и оценки кредитных рисков посвящено много работ отечественных и зарубежных ученых. Авторами этих исследований являются ученые Украины: В. Я. Вовк, И. В. Волошин, А. М. Герасимович, В. И. Грушко, Л. О. Примостка, О. В. Хмеленко, Я. И. Чайковский, Р. И. Шевченко, а также зарубежные: А. В. Беляков, Е. Б. Герасимова, Х. В. Грюнинг, Н. Е. Егорова, С. Н. Кабушкин, Т. В. Осипенко, В. Т. Севрук. Однако, несмотря на такое количество работ, чувствуется потребность в фундаментальных научных работах, посвященных комплексной оценке кредитного риска и формирования аналитического инструментария его регулирования, которые бы учитывали специфику работы отечественных банков.

Сегодня имеются различные методы оценки рисков, которые используются банками, например, скоринговый метод [1], метод экспертных оценок [2], нормативный метод [3], статистические методы аналогий [4]. Однако, быстрое развитие банковской системы, в том числе кредитования, влечет за собой необходимость в усовершенствовании существующих моделей кредитного риска, следовательно, данная тема является актуальной.

Целью данной работы является установить закономерности, зависимости формирования рисков при выдаче кредита, выбрать модель принятия решений для оценки кредитоспособности заемщика.

Содержимое основного материала. Большинство предлагаемых академической наукой методик оценки кредитоспособности схожи между собой по набору коэффициентов оценки финансового состояния заемщика. Отличие лишь в том, что оцениваемые показатели сгруппированы в разные агрегаты и к ним применяются отличные весовые коэффициенты. Как правило, методики содержат следующие группы финансовых коэффициентов:

- анализ собственного капитала заемщика (автономии, мобильности, отношение капитала к общей задолженности);
- анализ доходности заемщика (рентабельности выручки, рентабельности общего капитала, рентабельности собственного капитала);
- анализ платежеспособности заемщика (покрытия, мгновенной (абсолютной) ликвидности, отношения дебиторской и кредиторской задолженности).

Каждый коэффициент соотносится с неким эмпирическим нормативным значением и в зависимости от данного отклонения набирает определенное количество баллов. Такая процедура проводится с каждым коэффициентом всех групп. Сумма баллов коэффициентов,

входящих в одну группу суммируется. Каждая группа имеет свой собственный вес среди других групп в зависимости от оказываемого влияния на финансовое состояние кредитора. Набранное количество баллов по каждой группе умножается на все группы. Полученные значения суммируются, и в зависимости от данной величины кредитору присваивается определенный рейтинг, отражающий рискованность предоставления клиенту кредитного продукта.

Исходя из указанного выше, методики оценки кредитоспособности односторонни и, в основном, сводятся к расчету финансовых коэффициентов, по нашему мнению, является недостаточным для принятия решения о целесообразности кредитования того или иного физического лица. Нельзя не учитывать и вторичные факторы кредитоспособности:

- передаваемое в залог (заклад) обеспечение;
- региональные риски (риски вложения средств в регион нахождения предприятия);
- кредитная история заемщика;
- субъективные факторы кредитоспособности.

Исходя из сказанного выше, методика оценки кредитоспособности заемщика должна включать не только односторонний финансовый анализ, но и ряд других блоков, позволяющих всесторонне анализировать предприятия. Описанные дополнительные блоки не претендуют на полноту полученной с их помощью информации, но на наш взгляд являются необходимым минимумом для принятия решения о кредитовании.

В настоящее время для кредитного скоринга используются (рисунок 1) методы статистики (дискриминантный анализ, линейная регрессия, логистическая регрессия, деревья классификации), исследования операций (линейное программирование, нелинейная оптимизация) и искусственного интеллекта (нейронные сети, экспертные системы, генетические алгоритмы, методы ближайших соседей, байесовские сети, логико-вероятностные методы).

Все методы оценки кредитоспособности заемщика принципиально можно разделить на 2 группы: это экспертные методы оценки и методы, использующие в своей основе автоматизированные системы оценки (1-й уровень классификации). Методы первого уровня определяют характер принятия решения о кредитоспособности конкретного заемщика.

Методы 2-го уровня, представляющие математические средства поддержки принятия решений, включают следующие: статистические методы основаны на дискриминантном анализе. Например, методы линейной регрессии, методы логистической регрессии, наиболее распространенным является метод линейной многофакторной регрессии.



Рисунок 1 – Методы оценки кредитоспособности заёмщика

Указанные методы могут применяться как по отдельности, так и в различных комбинациях. Обилие совершенно разных методов для решения одной и той же задачи объясняется чисто прагматическим подходом: использовать то, что работает, а не пытаться объяснить причину дефолтов или зависимость от макроэкономических показателей. Для построения модели берётся выборка данных по существующим заёмщикам, обычно не менее нескольких тысяч записей. По каждому заёмщику необходимы анкетные данные и кредитная история за определённый период, как правило от одного года до двух лет. Относительно каждой кредитной истории решается, является ли она «хорошей» или «плохой»; обычно признаком «плохой» кредитной истории является факт задержки платежей на три и более месяцев. По части клиентов такое решение принять трудно (скажем, по тем, кто пропустил платежи за два месяца). Таких клиентов помещают в группу «средние». В зависимости от используемого метода скоринга, при построении модели могут все три указанные группы, либо «средние» клиенты просто удаляются из выборки. На качество модели сильно влияет выбор периода, за который рассматривается кредитная история (т.е. промежуток времени между заполнением анкеты и классификацией клиентов на «плохих» и «хороших»). Считается, что вероятность дефолта как функция времени от прихода в кредитную организацию вначале сильно колеблется, и только после года начинает стабилизироваться, поэтому использование меньшего периода приведёт к недооцениванию вероятности дефолта.

Нечеткие множества. Нечетко-множественные модели строят функциональное соответствие между нечеткими лингвистическими понятиями (например, кредитоспособность потенциального клиента может быть оценена как «очень хорошая», «хорошая», «плохая» и т.п.) и специальными функциями, выражающими степень принадлежности значений измеряемых параметров (в данном случае - кредитоспособность) упомянутым нечетким описаниям [6].

Неоспоримым преимуществом нечетко-множественной модели является ее способность оперировать одновременно как количественными, так и качественными характеристиками.

Одним из вариантов оценки кредитоспособности заемщика с использованием нечетко-множественной математической модели, может являться следующий алгоритм:

- на первом этапе производится оценка каждой характеристики клиента, в результате которой тому или иному показателю ставится в соответствие значение функции принадлежности;

- далее, посредством соответствующего математического аппарата, производится выбор наиболее подходящей оценки кредитоспособности.

Важными являются также следующие замечания:

- нечетко-множественные модели позволяют не только ранжировать показатели, входящие в их состав, но также позволяют присваивать так называемые «степени истинности» значений, что является очень важным в настоящее время, учитывая тот факт, что далеко не всегда представляемая финансовая (бухгалтерская и т.д.) отчетность гарантированно может быть признана достоверной;

- помимо задачи непосредственно оценки кредитного риска, нечетко-множественные модели позволяют реализовать полный цикл оценки кредитоспособности заемщика, с последующим принятием решения, т.е. оценить максимальное значение кредита, оценить качество обеспечения, определить категорию качества заемщика и размер расчетного резерва.

В контексте решения задачи оценки кредитоспособности заемщика определяющими являются следующие сильные стороны нечетко-множественного подхода: описание условий и решение задач на языке, близком к естественному языку;

решение задач с ненадежными исходными данными; использование опыта и интуиции эксперта; объяснение, каким образом получена классификация; качественная и количественная оценка кредитоспособности заемщика. Последнее утверждение очень важно, поскольку лицу, принимающему решение, кроме количественных значений, необходимо знать, приемлемы ли полученные значения, хороши ли они и в какой степени. Недостатком применения нечетко-множественного подхода является сложность построения и точной интерпретации функций принадлежности. Существует достаточное количество методов построения функций принадлежности. Большинство из них базируется на экспертных оценках, например, методы, основанные на статистической обработке мнений группы экспертов или на парных сравнениях, выполняемых одним экспертом. Экспертные методы определения вида функций принадлежности содержат субъективную составляющую.

Частично устранить субъективную составляющую в построении функций принадлежности можно с помощью лингвистического анализа. Суть лингвистического анализа заключается в том, что построение нечеткого классификатора базируется на выборке классифицируемого фактора [7]. Причем отмечается, что нет необходимости иметь классическую статистическую выборку, когда есть достаточное количество наблюдений, чтобы корректно подтвердить тот или иной закон распределения, или наблюдаем объекты, которые строго являются однородными [7].

Для построения модели оценки кредитоспособности физического лица, в основе которой, с одной стороны, лежит принцип системности (заемщик рассматривается как система взаимосвязанных характеристик), а с другой, нечетко-множественный подход, необходимо реализовать следующие этапы: определить факторы, влияющие на кредитоспособность заемщика; определить значимость влияния факторов на кредитоспособность. Построить нечетко-множественный классификатор. Этап предполагает определение лингвистической переменной и ее терм - множество, а также определение вида функции принадлежности на основании собранной квазистатистики. Определить кредитный рейтинг заемщика агрегированием факторов модели.

Итак, нами установлено, что наиболее подходящей моделью оценки кредитного риска является модель с учетом факторов нечеткости и недоопределенности, а именно, нечеткая скоринговая модель.

ВЫВОДЫ

1. В данной статье рассмотрены существующие математические методики, применяемые в процессе анализа кредитоспособности клиента, выявлены их достоинства и недостатки. Основное внимание уделено возможности и целесообразности использования аппарата нечеткой логики в качестве основы системы поддержки принятия решений, используемой практикующими кредитными экспертами коммерческих банков.

2. Предлагается использовать нечеткую скоринговую модель, позволяющую оценить кредитный риск как наиболее близкую к реальным данным.

Список использованных источников:

1. *Шепелева М. В.* Скоринг - как метод оценки кредитного риска [Электронный ресурс] / *М. В. Шепелева.* – Режим доступа: <http://masters.donntu.org/2006/kita/shepeleva/library/index1.html>
2. *Liu, Y.* The evaluation of classification models for credit scoring [Electronic resource] / *Y. Liu* // *Arbeitsbericht* 02/2002. – Mode of access:

<https://pdfs.semanticscholar.org/a62c/581a334e155cd6867a54d329b3db81ef2034.pdf>

3. Hand, D. J. Statistical classification methods in consumer credit / Hand D. J., W. E. Henley // Journal of the Royal Statistical Society. Series A. – 1997. – Vol. 160 – P. 523–541.

4. Learning bayesian network classifiers for credit scoring using Markov chain Monte Carlo search / B. Baesens [et al.] // Proc. International Congress on Pattern Recognition, 2002.

5. Thomas L. C. Time will tell : behavioural scoring and the dynamics of consumer credit assessment / L. C. Thomas, J. Ho, W. T. Scherer // IMA Journal of Management Mathematics. – 2001. – Vol. 12. – P. 89–103.

6. Дуболазов, В. А. Нечетко-множественный подход к оценке кредитоспособности физических лиц / В. А. Дуболазов, Н. С. Лукашевич // Финансы и кредит. – 2009. – № 13. – С. 35–45.

7. Ротштейн, А. П. Интеллектуальные технологии идентификации: нечеткая логика, генетические алгоритмы, нейронные сети / А. П. Ротштейн. – Винница: УНИВЕРСУМ -Винница, 1999. – 320 с.

Філатов А. С.

АНАЛІЗ МЕТОДІВ ОЦІНКИ КРЕДИТОСПРОМОЖНОСТІ ПОЗИЧНИКІВ ТА ЇХ ЗАСТОСУВАННЯ В СУЧАСНИХ СИСТЕМАХ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ

Виконано аналіз існуючих моделей оцінки кредитного ризику. Розглянуто наступні моделі оцінки кредитоспроможності позичальника: логіко-імовірнісний підхід, байєсовські мережі, нейронні мережі, метод найближчих сусідів, дерева класифікації, генетичні алгоритми, лінійне програмування, дискримінантний аналіз, множинна регресія, байєсовський підхід, кредитний скоринг.

Встановлено, що для побудови моделі оцінки кредитоспроможності фізичної особи, в основі якої, з одного боку, лежить принцип системності (позичальник розглядається як система взаємопов'язаних характеристик), а з іншого, нечітко-множинний підхід, необхідно реалізувати наступні етапи: визначити фактори, що впливають на кредитоспроможність позичальника, визначити значимість впливу факторів на кредитоспроможність, побудувати нечітко-множинний класифікатор (даний етап передбачає визначення лінгвістичних змінних і їх терм-множин, а також визначення виду функції приналежності на підставі зібраної квазістатистики), визначити кредитний рейтинг позичальника агрегуванням факторів моделі.

Отже, нами встановлено, що найбільш придатною моделлю оцінки кредитного ризику є модель з урахуванням факторів нечіткості, а саме, нечітка скорингова модель.

Ключові слова: кредитоспроможність, клієнт, нечітка скорингова модель, позичальник, кредит, банк, блок прийняття рішень

Filatov A. S.

ANALYSIS OF METHODS FOR ASSESSING THE CREDITWORTHINESS OF BORROWERS AND THEIR APPLICATION IN MODERN DECISION- MAKING SYSTEMS

The analysis of existing credit risk assessment models has been performed. The following models for assessing the borrower's creditworthiness are considered: a logical-probabilistic approach, Bayesian networks, neural networks, the nearest neighbors method, classification trees, genetic algorithms, linear programming, discriminant analysis, multiple regression,

Bayesian approach, credit scoring.

It was established that to build a model for assessing the creditworthiness of an individual, based on the principle of consistency, on the one hand (the borrower is considered as a system of interrelated characteristics), and on the other hand, a fuzzy-plural approach, it is necessary to implement the following steps: determine the factors affecting the borrower's creditworthiness, determine the significance of the influence of factors on creditworthiness, build a fuzzy-multiple classifier (this stage involves the definition of linguistic variables and their term-sets, as well as determining the type of membership function based on the collected quasi-statistics), determine the credit rating of the borrower by aggregating the factors of the model.

So, we have established that the most appropriate model for assessing credit risk is a model taking into account factors of fuzziness and underdetermination, namely, a fuzzy scoring model.

Keywords: *creditworthiness, client, fuzzy scoring model, borrower, loan, bank, decision block.*

Рецензент: канд. техн. наук, доц. Д. С. Міроненко

Стаття надійшла 05.11.2018 р.

УДК 004.42

© Федосова І. В., Шимширт В. В.

CMS ИЛИ FRAMEWORK. ЧТО ВЫБРАТЬ?

В статье представлено описание и обоснование выбора между CMS и framework`ом. Учтены такие факторы, как скорость работы, легкость в освоении (порог вхождения), удобство применения, актуальность и популярность представленных к анализу систем. В результате работы определен наиболее подходящий вариант для создания интернет-ресурсов (приняты во внимание как e-commerce платформы, так и ресурсы корпоративного уровня) на текущий момент времени.

Ключевые слова: *cms, framework, mvc, laravel, codeigniter, wordpress, drupal.*

Постановка проблемы. Перед каждым человеком, который желает заказать сайт, возникает выбор варианта его создания. С одной стороны, есть мнение, что CMS WordPress или какая-либо другая CMS – это идеальный вариант, с другой стороны, что CMS это неправильный выбор и необходимо разрабатывать сайт при помощи framework`а, например, Yii или Laravel, или вообще, что сайт нужно разрабатывать с нуля, без использования CMS и framework`ов.

Вопрос выбора действительно является актуальным на сегодняшний день, большинство специалистов в данной области, даже имея большой опыт в этой сфере, вновь и вновь становятся перед этим вопросом в начале каждого нового проекта. В этом вопросе мы и постараемся поработать в данной статье.

Анализ последних исследований и публикаций. Несмотря на важность поставленного вопроса и популярность темы, подобных публикаций можно сказать что нет. Упоминания встречаются только в электронных изданиях и, как правило, тема в них раскрыта недостаточно и/или не имеет логического обоснования, отражая только субъективное мнение автора без каких-либо представленных аргументов и фактов. Полезной, на наш взгляд, оказалась серия из трех статей Назара Моркинского [1,2,3], в которых автор анализировал плюсы и минусы CMS и framework`ов. Также, интересные идеи по построению архитектуры своего приложения можно взять в книге Мартина

Брамптона, который описывает процесс построения framework`а для ядра CMS системы [4].

Цель статьи – представить обоснованный выбор системы для разработки веб-проектов на сегодняшний день, опираясь на факторы, имеющие самый большой вес в разработке веб-ориентированного программного обеспечения на сегодняшний день, проанализировать существующие решения и определить оптимальный вариант для выбора, опираясь в первую очередь на личный опыт и полученные в ходе исследования данные из литературных источников.

Изложение основного материала. Для начала, конечно, стоит разобраться, что такое CMS и что такое framework.

Система управления сайтом (Content Management System) – это программный продукт, который служит для разработки некоторых стандартных разновидностей сайтов. Почти все CMS модульные, а модули многих из них собраны в комплекты (или редакции), предназначенные для тех или иных видов сайтов. Есть коробочные CMS для простых сайтов, для каталогов, для интернет-магазинов, для блогов, для новостных порталов и для других видов сайтов. При этом можно создавать прямо из админ-панели новые страницы, поля для форм, целые разделы и типы данных, настраивать ссылки, алиасы и прочее. У каждой CMS, как правило, есть свое сообщество, которое каждый день выпускает новые решения, новые модули, шаблоны и др. Большая часть небольших и средних сайтов строится именно на CMS-платформах, так как это наиболее целесообразный с экономической точки зрения подход: требования к таким сайтам с технической точки зрения невысокие, а встроенные в CMS модули обычно удовлетворяют выдвигаемым к ним бизнес-требованиям.

Что же такое framework? Фреймворк – это программный продукт, который служит основой для сайта, но обычно не содержит в себе готовых программных модулей для реализации конкретных бизнес-процессов. Выражаясь техническим языком, фреймворк – это более низкоуровневое решение, нежели CMS. Разработчики, при создании сайта на фреймворке, создают не только публичную часть сайта, но и проектируют базу данных, разрабатывают алгоритмы для модулей системы, а также создают административный интерфейс для управления проектом. Необходимость серьёзных затрат на программирование делает разработку более дорогой, но и результат получается более индивидуальным. Другими словами, разработчик полностью сосредотачивается на процессе разработки и осуществлении своих задумок. Но разработчику придется следовать определенным правилам, которые логичны, адекватны и помогают улучшить и код, и структуру приложения.

Этот вид платформ используют почти все крупные веб-проекты (на CMS построена лишь очень малая часть действительно серьёзных систем), а также подавляющее большинство веб-приложений и веб-сервисов (коробочных решений для уникальных бизнес-процессов просто не существует, а использование не очень подходящих CMS в качестве основы для конфигурации очень усложняет разработку).

Рассмотрим плюсы и минусы обоих вариантов чтобы понять, что же лучше.

Рассмотрим плюсы и минусы обоих вариантов чтобы понять, что же лучше.

Плюсы CMS:

- скорость разработки;
- уровень знаний;
- цена.

Минусы CMS:

- медленная работа сайта и загрузка страниц;

- ограниченность функционала;
 - качество кода;
 - безопасность;
 - расширяемость;
 - продвижение.
- Плюсы framework`а:
- скорость работы сайта и загрузки страниц;
 - безопасность;
 - конфигурация;
 - административная часть;
 - расширяемость;
 - продвижение;
 - качество кода.
- Минусы framework`а:
- сложность;
 - цена.

В таблице 1 представлен Топ 5 CMS по версии портала it-rating.in.ua.

Таблица 1 – Рейтинг CMS

№	CMS	БАЛЛЫ
1	WordPress	707
2	OpenCart	292
3	Joomla	242
4	MODX	185
5	1С-БИТРИКС	174

В таблице 2 представлен Топ 5 framework`ов по версии it-rating.in.ua.

Таблица 2 – Рейтинг framework`ов

№	FRAMEWORK	БАЛЛЫ
1	Bootstrap	153
2	Yii	115
3	Codeigniter	68
4	Zend	65
5	Laravel	43

У нас имеется опыт работы со всеми вышеупомянутыми решениями, кроме 1С – Битрикс. Поэтому, мы можем сделать собственную оценку и, в целом, согласиться с представленным рейтингом. Рассмотрим лидеров представленного рейтинга. Первое место среди CMS занимает WordPress. WordPress – наиболее доступная система, легкая в изучении и применении. Имеет достаточно узкую сферу применения, которая расширяется благодаря мультицелевым шаблонам и плагинам, однако огромное количество платных и бесплатных плагинов не всегда могут похвастаться корректной работой. WordPress реализует модульную структуру, но в тоже время не призывает разработчиков к использованию паттернов программирования, например, MVC, а оставляя на их выбор модель, по которой должна вестись дальнейшая разработка на базе данной CMS.

На первом месте среди фреймворков – Yii (Bootstrap не будет рассмотрен, так как это frontend framework, а это выходит за грани предметной области данной статьи). Yii – довольно простой фреймворк получивший большую популярность в наших странах, реализует MVC архитектуру и имеет большое количество библиотек, что позволяет экономить время разработки, поэтому используется преимущественно для больших проектов.

К основным особенностям Yii можно отнести:

- высокая производительность относительно других фреймворков [5];
- интерфейсы DAO и ActiveRecord для работы с базами данных;
- поддержка интернационализации;
- кэширование страниц и отдельных фрагментов;
- генерация базового PHP-кода для CRUD-операций (скаффолдинг);
- поддержка тем оформления для их лёгкой смены;
- автоматическое тестирование.

Разработка на CMS – наиболее правильный подход, если проект достаточно типовой. То есть в CMS уже есть все нужные модули, а те процессы, которые встроены в CMS, почти полностью соответствуют ожиданиям заказчика.

Разработка на фреймворке – наиболее правильный подход, если видение проекта заказчика не особо укладывается в возможности и процессы присутствующих на рынке CMS. То есть тогда, когда в случае использования CMS её придётся существенно дорабатывать.

По сути, выбор стоит делать на основании экономической составляющей разработки. Ниже приведены некоторые критерии, которые позволят принять обоснованное решение по этому вопросу:

— функционал, который встроен в CMS, дороже и дольше реализовывать на фреймворке, а разработка сложного функционала на CMS или переписывание базовых процессов CMS стоит дороже и занимает больше времени, чем та же работа, выполненная сразу на фреймворке;

— добиться от сложного проекта на CMS высокой скорости работы стоит дороже, чем сделать это на фреймворке. Аналогично обстоят дела и с масштабированием. То есть при высоких требованиях к устойчивости к нагрузкам, производительности или к отказоустойчивости выбирайте решения на фреймворках (или закладывайте стоимость работ по оптимизации CMS в бюджет проекта);

— запуск первой пилотной (неполной) версии проекта на CMS всегда быстрее, чем запуск аналогичной версии на фреймворке. Если проект сложный, а сроки запуска «горят», то лучше либо выпускать «пилот» на CMS, а затем его затратно дорабатывать или параллельно с этим разрабатывать решение на фреймворке, либо расставлять приоритеты между сроками разработки и сложностью проекта (либо отказываться от сложного функционала, либо увеличивать сроки).

Также, хотелось бы отметить пример из собственной практики, который и натолкнул на написание данной статьи. Некоторое время назад, перед нашей командой была поставлена задача, реализовать веб-сервис по подбору туров для турецкого туристического агентства Calypsotour. Проанализировав технические требования, учитывая требуемый функционал и временные рамки, наш выбор пал на CMS MODX. Работа была оценена ~1000 человеко-часов включая верстку, дизайн и программирование. На момент принятия решения – это казалось правильным выбором. С первыми трудностями в реализации мы столкнулись уже спустя первый месяц. И с каждым последующим месяцем все больше осознавали свою ошибку. Конечно, начинать с начала

уже было поздно, нужно было закончить работу. Мы продолжали бороться с минусами выбранной системы, несмотря на растущие затраты по времени и превышение сроков разработки. В итоге, дата релиза проекта была существенно сдвинута, и только сейчас, спустя определенное время, можно с уверенностью сказать, что нами была совершена ошибка при выборе средств реализации задачи. Если бы заранее был проведен данный анализ, описанный в этой статье, мы бы поняли, что выбор собственной реализации, а не использование готовой CMS – правильный вариант. Таким образом, мы бы увеличили начальную оценку на ~200 часов (разработка базового ядра для системы), но в конечном итоге, уложились бы в срок, а не переносили несколько раз релиз из-за непредвиденных сложностей с выбранной готовой CMS не рассчитанной на наши запросы.

ВЫВОДЫ

Подведем итоги исследования.

1) Если необходима высокая скорость работы и гибкость системы – необходимо использовать фреймворк. Если же требуется получить максимум функционала, приложив минимум усилий и времени, то необходимо использовать CMS, но в таком случае будут ограничения в том самом функционале (или в качестве его работы).

2) Практический опыт работы в этой области дает нам все основания сделать вывод, что наилучшее решение – это разработка собственной CMS, в которой будет реализован весь необходимый стартовый набор функционала, постараться объединить как можно больше плюсов обоих вариантов, рассмотренных в данной статье и при этом постараться избавиться от существующих минусов, представленных на современном рынке решений.

Список использованных источников:

1. Моркинский, Н. Собрать лучшее из двух миров – фреймворков и CMS [Электронный ресурс]. Ч. 1 / Н. Моркинский. – Режим доступа: <https://habrahabr.ru/post/244311/>
2. Моркинский, Н. Собрать лучшее из двух миров – фреймворков и CMS [Электронный ресурс]. Ч. 2 / Н. Моркинский. – Режим доступа: <https://habrahabr.ru/post/255139/>
3. Моркинский, Н. Собрать лучшее из двух миров – фреймворков и CMS [Электронный ресурс]. Ч. 3 / Н. Моркинский. – Режим доступа: <https://habrahabr.ru/post/275139/>
4. Brampton, M. PHP5 CMS Framework Development : expert insight and practical guidance to creating an efficient, flexible, and robust framework for a PHP5-based content management system / M. Brampton. – Birmingham; Mumbai : Packt Publishing, 2008. – 328 p.
5. Performance of Yii [Electronic resource]. – Mode of access: <http://www.yiiframework.com/performance/>

Федосова І. В., Шимширт В. В.

CMS АБО FRAMEWORK. ЩО ОБРАТИ?

У статті представлено опис і обґрунтування вибору між CMS і framework'ом. Проведено порівняння лідерів на ринку готових рішень. Враховані такі фактори, як швидкість роботи, легкість в освоєнні (порог входження), зручність застосування,

актуальність і популярність представлених до аналізу систем. Проведено аналіз основних переваг і недоліків. Розглянуто базові визначення, а так само представлений рейтинг наявних рішень з докладними коментарями щодо них з точки зору фахівця в даній області. Крім іншого, відзначений приклад з особистої практики безпосередньо пов'язаний з темою даної наукової роботи. Показано, що готові рішення не завжди є правильним вибором при розробці як типових, так і не типових проектів, так як функціонал надається готовими рішеннями вкрай рідко збігається з вимогами замовника, внаслідок чого, розробники доводиться більшу частину реалізовувати самостійно, що несе за собою високі втрати часу розробки. В результаті роботи визначено найбільш підходящий варіант для створення інтернет-ресурсів (прийняті до уваги як e-commerce платформи, так і ресурси корпоративного рівня) на поточний момент часу. Визначено, що якщо необхідна висока швидкість роботи і гнучкість системи - необхідно використовувати фреймворк. Якщо ж потрібно отримати максимум функціоналу, приклавши мінімум зусиль і часу, то необхідно використовувати CMS, але в такому випадку будуть обмеження у тому самому функціоналі (або в якості його роботи). Якщо ж необхідно ідеальне рішення, яке повністю буде покривати вимоги замовника, то правильним вибором буде розробка власної CMS, в якій буде реалізований весь необхідний стартовий набір функціоналу. Мета функціоналу-постаратися об'єднати якомога більше плюсів варіантів, розглянутих в даній статті і при цьому постаратися позбутися від існуючих мінусів, представлених на сучасному ринку рішень.

Ключові слова: cms, framework, mvc, laravel, codeigniter, wordpress, drupal.

Fedosova I. V., Shymshyrt V. V.

CMS OR FRAMEWORK. WHAT TO CHOOSE?

The article describes and justifies the choice between CMS and framework. The comparison of leaders in the market of ready-made solutions. Factors such as speed, ease of use (entry threshold), ease of use, relevance and popularity of the systems presented for analysis are taken into account. The analysis of the main advantages and disadvantages. The basic definitions are considered, as well as the rating of available solutions with detailed comments on them from the point of view of a specialist in this field. Among other things, an example from personal practice directly related to the topic of this scientific work was noted. It is shown that ready-made solutions are not always the right choice in the development of both standard and non-standard projects, as the functionality provided by ready-made solutions rarely coincides with the requirements of the customer, so that the developers have to implement most of their own, which carries a high loss of development time. As a result, the most suitable option for the creation of Internet resources (taken into account both e-commerce platform and enterprise-level resources) at the current time has been identified. It is determined that if you need high speed and flexibility of the system - you need to use the framework. If you want to get the maximum functionality, with a minimum of effort and time, it is necessary to use the CMS, but in this case there will be restrictions in the very functionality (or as its work). If you need an ideal solution that will fully cover the requirements of the customer, the right choice will be to develop your own CMS, which will be implemented all the necessary starting set of functionality. The purpose of the functional is to try to combine as many advantages of the options considered in this article as possible and at the same time try to get rid of the existing disadvantages presented in the modern market of solutions.

Keywords: cms, framework, mvc, laravel, codeigniter, wordpress, drupal.

Рецензент к.т.н., доц. Т. А. Левицкая

Стаття надійшла 08.10. 2018

УДК 004.056.55:004.421.5

© Левицкая Т. А.¹, ©Бураков Р. А.²

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ ОБРАБОТКА КЛАССИЧЕСКИХ ПРОИЗВЕДЕНИЙ ДЛЯ ФОРТЕПИАНО С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СИАМСКОЙ НЕЙРОННОЙ СЕТИ

Данная статья посвящена созданию модели нейронной сети для анализа и обработки классических произведений на пианино на основе технологий обработки естественного языка, адаптации метода векторного представления слов для работы с аккордами, использованию машинного обучения в сфере анализа классических произведений для пианино. Рассмотрены проблемы существующих моделей нейронных сетей для генерации и обработки фортепианной музыки, проанализированы методы устранения выявленных проблем. Был предложен метод записи нот в виде аккордов, создан уникальный словарь музыкальных аккордов и адаптирована технология word2vec. По результатам сравнения полученной модели с уже существующими моделями показана её адекватность.

Ключевые слова: векторное представление, word2vec, skip-gram, нейронные сети, машинное обучение, дистрибутивная семантика, обработка естественного языка.

Постановка проблемы. Системы анализа и обработки естественной речи уже дошли до уровня понимания человеческой речи не как набор отдельных слов или букв, а как понимание целых фраз и их смысла. Многие работы по анализу естественного языка базируются на технологии векторного представления слов, что позволяет получить более глубинное понимание смысла предложения.

Однако, несмотря на то, что музыка играет важную роль в жизни человека, работ, которые занимаются обработкой музыки с использованием машинного обучения, довольно мало и все они не дают приемлемый результат. В настоящее время происходит формирование методов генерации последовательностей аккордов, поэтому обработка символических музыкальных данных, является актуальным научным направлением на сегодняшний день.

Анализ последних исследований и публикаций. В настоящий момент данное направление развивается только в лабораториях зарубежных университетов, таких как Корнельский университет (США), Федеральная политехническая школа Лозанны (Швейцария), Сингапурский университет технологии и дизайна и т.д. После изучения и анализа литературных источников, посвященных анализу и генерации музыки, можно сделать вывод, что в большинстве работ аккорды кодируются как звучание отдельных нот или интервалов. Это можно отнести к недостаткам известных методик, поскольку при таком подходе аккорды теряют целостность, и нейронной сети приходится самой учиться собирать аккорд из множества маленьких кусочков. Это приводит к избыточным тратам потенциала нейросети.

Многие работы используют очень ограниченный список аккордов или вообще его не используют, вследствие чего теряется выразительность музыки на выходе. Например, в статье *Chord Generation from Symbolic Melody Using BLSTM Networks* [1] изложена методика, в которой используется всего 24 аккорда в словаре, из них 12 мажорных и 12

¹ доц., канд. техн. наук, ГВУЗ «Приазовский государственный технический университет», г. Мариуполь, tlevitisys@gmail.com

² ученик, Мариупольский городской лицей, г. Мариуполь, buracov.r@gmail.com

минорных. В опубликованном методе *Chord2Vec: Learning Musical Chord Embeddings* [2] отсутствует словарь, при этом аккорды строятся по несколько нот за раз. Ограничение в 233 аккорда представлено в статье *Evaluating language models of tonal harmony* [3]. В предложенном методе обрабатываются последовательности интервалов и происходит фокусировка на сложных предсказаниях. Базирование на слайсах, в которые входят ноты, проигрываемые обеими руками, происходит в методе *Modeling Musical Context with Word2vec* [4]. При этом теряет целостность произведения и покрывается только малейшая часть возможного словаря комбинаций.

Для известных методов свойственна концентрация на нотах, вместо их положения на клавиатуре. Например, нота до первой октавы и второй кодируются одинаково. При этом возможно получить гармонические отношения между нотами, но раскодировать такую музыку уже невозможно, поскольку не известно положение ноты на клавиатуре.

Целью данной работы является создание новой модели нейронной сети, которая сможет понимать музыку на приблизительно том же уровне, на котором современные системы анализа естественного языка понимают человеческую речь. Предварительная проверка предположения, что музыка - это такая же форма естественного языка, как и обычная лингвистика. Создание нового удобного метода записи нот и словаря аккордов, который сможет в полной мере передать практически любое фортепианное произведение, при этом не будет слишком сложен для понимания человеком. Адаптация современных технологий обработки естественного языка для анализа классической музыки.

Изложение основного материала. Одной из основных проблем в сфере обучения нейронной сети музыке, является неправильно составленный словарь или его полное отсутствие. Всего на пианино 88 клавиш и каждая из них находится в одном из 2 состояний - нажата или нет. Таким образом имеем $2^{88} \approx 3 \times 10^{26}$ возможных состояний. Очевидно, что это слишком много. Для словаря оптимальным количеством аккордов будет от 10 до 100 тысяч, что является типичным для небольших моделей естественного языка.

К изложенной выше проблеме было найдено лаконичное решение: необходимо наложить ограничения на максимальную ширину и количество клавиш в аккорде. Аккордом мы будем считать одну или несколько одновременно нажатых клавиш. Так как рука нормального человека не может взять аккорд шире 17 полутонов (приблизительно полторы октавы), поставим соответствующее ограничение на максимальное расстояние между нижней и верхней клавишами аккорда. По очевидным причинам человек не может взять одной рукой аккорд больше, чем из 5 клавиш. Однако, аккорды из 5 клавиш на практике используются редко, поэтому будет сложно обучить им нейронную сеть. Поскольку они не дают особой прибавки в выразительности по сравнению с аккордами из 4 клавиш, то введем ограничение на 4 клавиши. Длина словаря при таком ограничении - 62427 возможных аккордов. Стоит отметить, что при ограничении в 5 аккордом словарь неоправданно увеличился бы на 175168 аккордов. В результате для обучения нейронной сети были приняты аккорды размером от 1 до 4 клавиш и шириной не более 17 полутонов и создан словарь из 62427 аккордов. Каждый аккорд имеет свой уникальный номер - индекс в словаре, т.е. нейронная сеть получает на вход индекс аккорда. Таким образом в предложенном методе решена проблема затрат потенциала нейросети из-за слишком большого количества подаваемых ей данных.

Существенным достижением предлагаемого метода является адаптации технологии векторного представления слов word2vec [5] в контекст музыкальных аккордов. Для выполнения данной задачи потребовалось много примеров существующих классических произведений для пианино. В данном проекте используется открытая база классических произведений в формате MIDI, собранная Берндом Крюгером. Все MIDI

файлы обрабатываются и представляются в виде последовательности аккордов. Если несколько аккордов играют двумя руками одновременно, то они записываются как два аккорда, следующие один за другим. База состоит из 280 композиций, что в общей длине всех последовательностей составляет 436384 аккорда. Этого недостаточно для обучения со словарем размером в 62427 аккордов. Поэтому было решено использовать метод обобщения входных данных: для каждого произведения используется метод транспозиции, чтобы сместить все ноты произведения на определенный интервал. Интервал смещения варьируется до одной октавы вниз или вверх. Такое ограничение обуславливается тем, что мы не хотим отходить от изначального ключа слишком далеко, ведь аккорды нижних октав могут случайно перенять характеристики, присущие только верхним. Данный прием позволяет увеличить набор данных в 23 раза. В итоге общая длина последовательностей всех аккордов составляет 10036832 аккорда. При этом, нейронная сеть обучается важному свойству: если проиграть композицию в другом ключе - она по-прежнему будет звучать мелодично. После транспозиции отношение между аккордами не меняется.

Технология word2vec имеет 2 архитектуры: skip-gram и CBOW. В связи с тем, что на меньших наборах данных и в обучении нейронной сети редко-встречающимся аккордам лучший результат показывает именно skip-gram, в данной работе рассматривается только эта архитектура.

Для создания нейронной сети был выбран язык программирования Python в силу своей лаконичности и большого количества инструментов для работы с нейронными сетями. Также используется нейросетевая библиотека Keras.

А процессе обучения нейросети векторному представлению аккордов, из базы выбираются пары аккордов, стоящие в одном контексте и нейронная сеть дает им оценку 0 или 1. Чтобы не оказалось, что нейросеть все связи оценивает как сильные и никогда не выдает 0, используется негативное сэмпирование, которое заключается в том, что для каждой пары с оценкой 1 выбирается несколько других пар, которым дается оценка 0. Таким образом сеть учится делать связи между одними аккордами сильнее, а между другими слабее.

В базе данных одни аккорды появляются часто, а другие редко и для того, чтобы в процессе обучения нейронная сеть смогла одинаково хорошо обучаться как популярным, так и непопулярным аккордам, был выбран следующий алгоритм обучения. После того как случайным образом выбран аккорд из словаря, находится одно из его появлений в базе для обучения, поэтому частота появления аккорда в базе произведений перестает играть основополагающую роль. Предложенный алгоритм гарантирует, что все аккорды попадают в пары для обучения с равной вероятностью.

Нейронная сеть состоит из 2 слоев: первый пропускает через себя оба аккорда по отдельности и кодирует их векторное представление, а второй берет два представления одновременно, делает скалярное произведение между ними и уже полученное число пропускает через функцию сигмоиды. В результате получаем число от 0 до 1, где 0 - это аккорды не встречаются рядом, а 1 - это встречаются только рядом. Первый слой нейронной сети учится векторному представлению аккордов и его веса представлены матрицей $62427 \times N$, где N - это размер векторного представления аккордов. Экспериментальным путем было определено, что оптимальным значением является $N=128$. Это представлено на рис. 1. Обучение происходит в 300 шагов, где каждый шаг просматривает 100 наборов данных, каждый набор состоит из 4096 пар аккордов.

Целевая функция нейронной сети принимает следующий вид:

$$p = \frac{1}{1 - e^{-w(Eo_c \cdot Eo_t) - b}}$$

где o_c - входной параметр, унитарное кодирование номера первого аккорда;
 o_t - входной параметр, унитарное кодирование номера второго аккорда;
 E - обучаемый параметр, матрица векторных представлений всех аккордов;
 w, b - обучаемые параметры второго слоя сети;
 p - выходное значение нейронной сети в интервале от 0 до 1, которое выражает вероятность того, что два данных аккорда можно встретить в одном контексте.

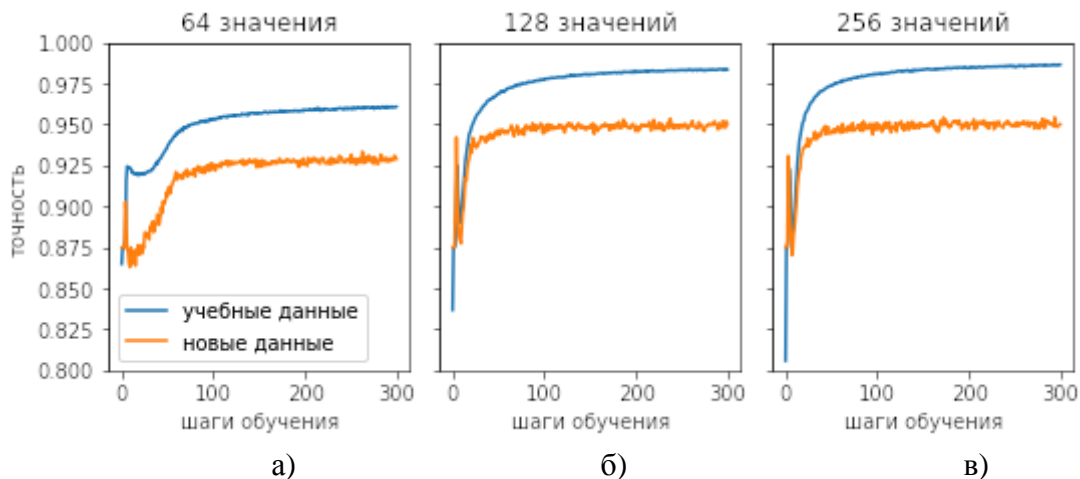


Рисунок 1 – Графики точности предсказаний на учебных и тестовых данных при разных шагах обучения при: а) $N = 64$; б) $N = 128$; в) $N = 256$,

где а) точность сети не поднимается выше 92 % на тестовых данных;

б) точность сети составляет 98 % на тренировочных данных и 95 % на тестовых;

в) точность сети не увеличилась, а значит значение $N = 128$ можно считать оптимальным

В результате работы, созданная нейронная сеть достигла точности 98 % на тренировочных данных и 95 % на тестовых. Векторное представление разных групп аккордов было спроектировано на плоскость методом t-SNE [6] для анализа найденных между ними взаимоотношений. Проекция векторного представления аккордов из одной клавиши и их октав на 2D пространство представлено на рис. 2.

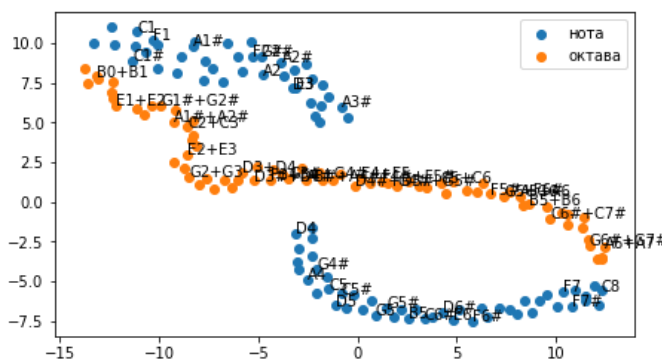


Рисунок 2 – Проекция векторного представления аккордов из одной клавиши и их октав на 2D пространство

При анализе проекции можно заметить найденные нейронной сетью отношения между аккордами из одной клавиши и их октавами - они образуют две цепочки, которые тянутся от самой нижней ноты к самой верхней в одном направлении и словно переплетаются образуя спираль. Данное наблюдение можно объяснить тем, что аккорды из одной ноты и интервалы в октаву являются гармонически правильными и семантически универсальными. Вероятно, поэтому сеть расположила их в порядке возрастания высоты нот. Также был осуществлен анализ проекции аккордов из нескольких клавиш с целью сравнения свойств, обнаруженных нейронной сетью для аккордов из одной клавиши и нескольких, представлен на рис. 3.

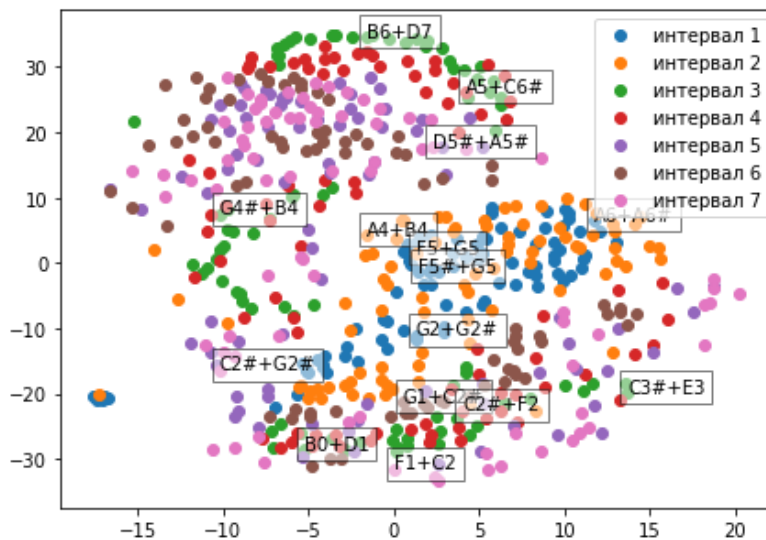


Рисунок 3 – Двумерная проекция векторного представления нот с различными интервалами

Как видно на данной проекции, более сложные интервалы имеют иную характеристику, нежели простые. Рисунок, образованный проекцией аккордов из нескольких клавиш отличается от рисунка с аккордами из одной клавиши: в отличие от рисунка 2, аккорды из двух клавиш не образуют спираль, они образуют кольца различного радиуса.

Векторное представление аккордов позволяет найти аккорды, имеющие схожую семантическую роль с данным. Для этого высчитывается значение косинусного коэффициента для всех аккордов из словаря в паре с заданным, и аккорды упорядочиваются по возрастанию полученного коэффициента. Примеры сгенерированных последовательностей аккордов представлены на рис. 4

Формула косинусного коэффициента для векторов u и v :

$$\frac{u \cdot v}{|u| |v|}$$



Рисунок 4 – Примеры сгенерированных последовательностей аккордов:

- а) до мажорный аккорд первой октавы, б) уменьшенный си минорный аккорд большой октавы, в) нота соль первый октавы, г) интервал из ре и соль первой октавы

При этом прослеживается интересная закономерность: в отличие от аккордов из одной клавиши, где схожие аккорды обычно выстраиваются по мере увеличения интервала, похожие аккорды из нескольких клавиш, как правило, имеют одни и те же ноты в составе, просто в разных комбинациях. Это можно объяснить тем, что чем больше в аккорде клавиш, тем он менее универсален и тем больше у него связь с аккордами, что используют такие же ноты. Таким образом, нейронная сеть предоставляет приоритет составу аккорда, нежели его высоте. Стоит отметить, что нейронная сеть не получала никаких данных о клавишах в аккорде или интервалах между ними, только индекс аккорда и его контекст. Получается, что она смогла сама определить свойства аккордов исходя лишь из его индекса и контекста.

Достигнутый уровень понимания свойств аккордов, основываясь только на контексте аккорда, говорит о том, что средства обработки естественного языка можно с успехом адаптировать к музыкальным аккордам, а значит, компьютер можно научить понимать музыка также хорошо, как он понимает и естественную речь. Получается, что перспективы развития обработки музыки с использованием машинного обучения сопоставимы с перспективами развития технологий обработки естественного языка.

ВЫВОДЫ

В работе рассмотрены недостатки большинства существующих моделей нейронных сетей для анализа и обработки музыкальных произведений для фортепиано и методы их решения. Основываясь на полученной в ходе проведения исследования информации, показано, что методы анализа и обработки естественного языка оказались эффективными для музыкальных произведений. Предложен новый способ нотации нот, предложен метод транспозиции аккордов и создан уникальный словарь музыкальных аккордов. Была спроектирована нейронная сеть и применен метод векторного представления на аккорды с алгоритмом обучения skip-gram. Полученные результаты показали способность нейронной сети обучаться таким свойствам аккордов, как высота звучания и нотный состав, при том, что сеть не получала этих данных об аккорде заранее.

Список использованных источников:

1. *Lim, H. Chord Generation from Symbolic Melody using BLSTM Networks / H. Lim, S. Rhyu, K. Lee // Proceedings of the 18th ISMIR Conference (Suzhou, October 23–27, 2017 y.). – Suzhou, 2017. – P. 621–627.*

2. Qu, L. Chord2Vec : Learning Musical Chord Embeddings / L. Qu, C. Walder // 30th Conference on Neural Information Processing Systems (Barcelona, December 9, 2016 y.). – Barcelona, 2016. – P. [1–5].
3. Sears, D. R. W. Evaluating Language Models of Tonal Harmony / D. R. W. Sears, F. Korzeniowski, G. Widmer // 19th International Society for Music Information Retrieval Conference (Paris, September 23–27, 2018 y.). – Paris, 2018. – P. 211–217.
4. Herremans, D. Modeling Musical Context Using Word2vec / D. Herremans, C.-H. Chuan // Proceedings of the First International Workshop on Deep Learning for Music (Anchorage, 18–19 May, 2017 y.). – Anchorage, 2017. – P. 11–18.
5. Efficient Estimation of Word Representations in Vector Space [Electronic resource] / T. Mikolov [et al.] // arXiv:1301.3781v3 [cs.CL] – 2013. – Mode of access: <https://papers.nips.cc/paper/5021-distributed-representations-of-words-and-phrases-and-their-compositionality.pdf>
6. Maaten, L. Visualizing Data using t-SNE / L. Maaten, G. Hinton // Journal of Machine Learning Research. – 2008. – № 9. – P. 2579–2605.

Левицька Т. О., Бураков Р. А.

АВТОМАТИЗОВАНА ОБРОБКА КЛАСИЧНИХ ТВОРІВ ДЛЯ ФОРТЕПІАНО З ВИКОРИСТАННЯМ СІАМСЬКОЇ НЕЙРОННОЇ МЕРЕЖІ

Дана стаття присвячена створенню моделі нейронної мережі для аналізу і обробки класичних творів для піаніно на основі існуючої технології обробки природної мови, адаптації методу векторного подання слів для роботи з акордами, використання машинного навчання у сфері аналізу класичних творів для фортепіано. Розглянуто проблеми існуючих моделей нейронних мереж для генерації та обробки фортепіанної музики, проаналізовано методи усунення виявлених проблем. Був запропонований новий метод запису нот у вигляді акордів, створений унікальний словник музичних акордів, використаний метод транспозиції акордів для його розширення і адаптована технологія word2vec з використанням алгоритму skip-gram. Для якісного навчання нейронної мережі використовувався метод негативного семплювання. Була використана технологія t-SNE для проєкції отриманого векторного подання акордів з різною кількістю клавіш і різними інтервалами на двовимірний простір. На отриманій проєкції був проведений аналіз властивостей і взаємозв'язків між акордами, знайдених нейронною мережею. Використаний косинусний коефіцієнт для оцінки схожості акордів і на його основі були згенеровані послідовності акордів, схожих за властивостями з даним. У процесі роботи були проаналізовані різні розміри векторного представлення акордів і експериментальним шляхом був отриманий оптимальний. Всі запропоновані в роботі методи були аргументовані і необхідні. За результатами порівняння отриманої моделі з вже існуючими моделями показана її адекватність та новизна. Була обґрунтована перспективність розвитку даного напрямку.

Ключові слова: векторне подання, word2vec, skip-gram, t-SNE, нейронні мережі, машинне навчання, дистрибутивна семантика, обробка природної мови.

Levitskaya T., Burakov R.

AUTOMATED PROCESSING OF CLASSICAL PIANO PIECES USING A SIAMESE NEURAL NETWORK

This article is devoted to the creation of a neural network model for the classical piano pieces analysis and processing based on existing natural language processing technologies, adaptation of words vector representation method to musical chords, usage of machine learning in the analysis of classical piano pieces. The issues of existing neural network models for piano music generation and processing were analyzed, solutions to the revealed issues were considered. Chords notation method was offered, a unique dictionary of musical chords was created and chords transposition method was used. Word2vec technology with the skip-gram algorithm usage was adapted. The method of negative sampling was used in efficient neural network training. T-SNE technology was used to project the obtained vector representation of chords with different number of keys and different intervals into two-dimensional space. The obtained projection was used to analyze the properties and relationships between the chords found by the neural network. The cosine coefficient was used to estimate the similarity of chords and the sequence of chords similar to the given was generated. Different sizes of chords vector representation were analyzed and the optimal one was revealed experimentally. All the methods proposed in the article were reasoned and necessary. Comparison results of the developed model and existing ones have shown the relevance of the created model. The prospects for the development of music processing and analysis using machine learning with word2vec model were justified.

Keywords: word embedding, word2vec, skip-gram, t-SNE, neural networks, machine learning, distributive semantics, natural language processing.

Рецензент: д-р пед. наук, зав. каф. «Компьютерные науки» Федосова И. В.
Стаття надійшла 31.10.2018 р.

УДК 004.42

Федосова І. В.¹, Бобришева О. В.²

ТЕНДЕНЦІЇ ТА ПРОБЛЕМИ ВИКОРИСТАННЯ РЕКОМЕНДАЦІЙНИХ СИСТЕМ У ГАЛУЗІ ТУРИЗМУ

У статті поставлені та проаналізовані основні проблеми використання рекомендаційних систем у сфері туризму. Виконаний огляд існуючих досліджень. Проведений аналіз підходів до побудови рекомендаційних систем (системи з колаборативною фільтрацією, прецедентні системи, гібридні системи і системи, засновані на контенті) та обраний найбільш ефективний. Розглянуті алгоритми, які широко використовуються в рекомендаційних системах (кореляція Пірсона, алгоритми

¹ д-р пед. наук, проф., ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет», м. Маріуполь, irivasilevna1964@gmail.com

² студент, ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет», м. Маріуполь, sashabobrysheva95@gmail.com

кластеризації, байєсівські мережі довіри, ланцюги Маркова, класифікація за методом Роккіо).

Ключові слова: рекомендаційна система, туризм, рекомендація, оптимальний маршрут, планування, користувач.

Постановка проблеми. Туризм – один з найбільш швидкозростаючих секторів, і багато країн залежать від нього як від основного джерела прибутку. Його можна розділити на різні категорії, виходячи з основних мотивів, таких як медичний, освітній, художній, спортивний туризм і т.д. [1]. Ця область складається з величезної кількості інформації, яка зберігається в цифровому вигляді.

Туризм сьогодні - глобальний комп'ютеризований бізнес, учасниками якого є не тільки туроператори і турагенти, а й великі авіакомпанії, готелі і ресторани усього світу.

Рекомендаційні системи - це відмінна можливість спростити роботу і заощадити час як туристичним агентствам, так і окремим туристам.

Проблеми, які виникають під час розробки ефективних інформаційних систем прийняття рішень в індустрії туризму, пов'язані з необхідністю реалізації методів для обробки великих обсягів різномірної інформації та організація і впровадження діалогу з користувачем системи, який досить часто не може чітко визначити критерії для пошуку бажаного місця відпочинку.

Таким чином, головним завданням при розробці рекомендаційних систем у галузі туризму є розробка ефективних механізмів спрямованого пошуку потрібної інформації [2].

У сфері туризму надзвичайно важливою є проблема створення системи, яка дозволить ефективно обробляти великий обсяг туристичної інформації, формувати найбільш підходящі варіанти для туриста, виходячи з введених ним уподобань, а також будувати оптимальні маршрути подорожі.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Алгоритм Slope One являє собою один з найпростіших методів реалізації колаборативної фільтрації за схожістю предметів на підставі оцінок користувачів [3]. Цей алгоритм був розроблений Леймаром (Lemire) та Маклахланом (MacLachlan) та мав важливе значення для появи рекомендаційних систем.

Оскільки туристична індустрія на сучасному етапі виявляє великий динамізм розвитку, то можна знайти достатньо велику кількість досліджень на дану тематику.

Маной Редді Даредді (Manoj Reddy Dareddy) у своїй статті «Проблеми рекомендаційних систем для туризму» («Challenges in Recommender Systems for Tourism») обґрунтовує важливість використання рекомендаційних систем в галузі туризму, а також розглядає такі основні їх завдання як: динамічне планування маршрутів, створення мобільних додатків, методи оцінки зворотного зв'язку, групові рекомендації, роль соціальних мереж для рекомендацій, інтеграцію зі всіма пристроями туриста, інтелектуальність системи, найбільш точне моделювання поведінки користувачів, конфіденційність і надійність.

Також, прикладами статей на тему використання рекомендаційних систем в галузі туризму можуть служити роботи Борраса (Borràs), Морено (Moreno) і Волса (Valls) «Інтелектуальні рекомендаційні системи туризму: огляд» («Intelligent tourism recommender systems: A survey»), Ардісоно (Ardisono), Куфлика (Kuflik) і Петреллі (Petrelli) «Персоналізація в культурній спадщині: пройдений шлях і один вперед» («Personalization in cultural heritage: the road travelled and the one ahead»), Річчі (Ricci) «Запит бази даних для рекомендації з планування поїздки» («Case base querying for travel planning recommendation»).

Існують також різні портали, які надають інформацію про визначні пам'ятки міст світу. Приклади таких порталів та їх опис представлені в таблиці 1.

Описані портали створені з ціллю допомогти туристу якомога швидше й ефективніше спланувати свою подорож, для чого надають потрібну інформацію та інструменти.

Метою даної роботи є дослідження основних тенденцій і проблем використання рекомендаційних систем у галузі туризму.

Основний матеріал дослідження. Найголовніша вимога будь-якого туриста - мати можливість вибору з найбільш підходящих варіантів подорожі виходячи з його бюджету, вподобань і часу проведення туру. Існує досить великий обсяг туристичної інформації, яка вимагає автоматичної обробки і яку можна використовувати для рекомендаційної системи. Також є необхідність ретельної розробки методик для швидкої обробки великої кількості інформації. Крім того, важливо розробити модель, що враховує специфічні вподобання клієнтів [4].

Таблиця 1 – Портали для туристів

Назва	Опис
Booking.com	Портал, де туристи можуть обрати і забронювати квитки та варіант проживання для відпочинку онлайн.
iknow.travel	Проект, який об'єднує місцевих жителів і мандрівників з усіх кінців світу, готових розповісти про цікаві місця світу.
Sygie Travel	Планувальник подорожі і відпустки, за допомогою якого можна знайти кращі місця, тури, готелі та інше, з автономними картами і навігацією в телефоні.
Triplantica	Персональний помічник в плануванні самостійної подорожі, що надає можливість автоматично скласти особистий маршрут подорожі

Класифікація систем і сайтів в залежності від інформації, яку вони надають, представлена на рис. 1.

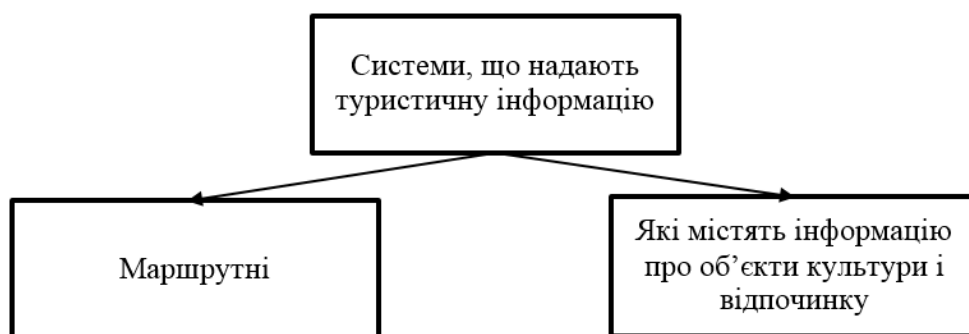


Рисунок 1 – Класифікація систем і сайтів в залежності від інформації, яку вони надають

Класифікація систем і сайтів в залежності від способу їх побудови представлена на рис. 2.



Рисунок 2 – Класифікація систем і сайтів в залежності від способу їх побудови

В основному, всі вони включають статичну довідкову інформацію, а гнучкий параметричний пошук доступний не скрізь. Тематична добірка об'єктів, таких як пам'ятки або ресторани, зустрічається значно рідше і представлена здебільшого на статичних порталах у вигляді фіксованих маршрутів. Такі маршрути, не будучи забезпечені механізмом обліку переваг користувача, не дозволяють будувати розклад в заданому інтервалі часу і з параметричної фільтрацією. Дану проблему можна легко вирішити за допомогою рекомендаційної системи.

До рекомендаційних систем, що дозволяють врахувати різні аспекти і деталі вподобань користувача, можна застосувати такі підходи:

- реалізація системи з колаборативною фільтрацією;
- реалізація системи, заснованої на контенті;
- реалізація прецедентної системи;
- реалізація гібридної системи.

Колаборативна фільтрація виробляє рекомендації, які ґрунтуються на моделі попередньої поведінки користувача. Ця модель може бути побудована виключно на підставі поведінки даного користувача, але її побудова з урахуванням поведінки інших користувачів з подібними до даного користувача характеристиками буде більш ефективною. У тих випадках, коли колаборативна фільтрація бере до уваги реакцію інших користувачів, вона виробляє рекомендації на підставі подібності користувачів, використовуючи знання про групу. По суті, рекомендації базуються на автоматичній співпраці безлічі користувачів і на виділення тих користувачів, які демонструють схожі переваги або шаблони поведінки [5].

Перевагою систем з колаборативною фільтрацією можна вважати теоретично високу точність. Але при цьому, не знаючи нічого про інтереси користувача, рекомендації практично марні.

Контентна фільтрація формує рекомендацію на основі поведінки користувача. Вони використовують метрику смаків користувача, яка витягується із запропонованого йому при реєстрації опитувальника, а в подальшому поповнюється його фактичним вибором.

У системах, заснованих на контенті, є можливість рекомендувати ті об'єкти, які ще не були ніким оцінені. Але істотним їх недоліком є те, що значно падає точність.

Прецедентні системи є окремим випадком тематичних. Вони борються з проблемою зміни уподобань користувача в часі: виділяються типажі користувачів або сценарії поїздок, що описують даний випадок.

Гібридні системи поєднують в собі кілька технологій побудови рекомендаційних систем.

Найпоширенішим підходом є саме колаборативна фільтрація, яка досить проста в реалізації. Але безумовно найкращим підходом є саме створення гібридної системи.

Незважаючи на те, що даний підхід досить складно реалізувати, він є найбільш ефективним і точним, так як дозволяє поєднати в собі переваги і практично виключити недоліки інших підходів.

Найпоширенішими алгоритмами, які використовуються в рекомендаційних системах, є:

- кореляція Пірсона;
- алгоритми кластеризації;
- байєсівські мережі довіри;
- ланцюги Маркова;
- класифікація за методом Роккіо.

Подібність між двома користувачами (і їх атрибутами, такими як ресторани, які відвідував турист) може бути точно обчислено за допомогою кореляції Пірсона. Цей алгоритм вимірює лінійну залежність між двома змінними як функцію їх атрибутів [6]. Однак він не обчислює цю міру за всією сукупністю користувачів. Цю сукупність необхідно попередньо відфільтрувати до близьких елементів на підставі високорівневих показників подібності, таких як відвідування подібних ресторанів.

Алгоритми кластеризації - це різновид так званого «спонтанного навчання», що дозволяє виявити структуру в рядах на перший погляд випадкових даних [7]. У загальному випадку такий алгоритм базується на виявленні подібності між елементами за допомогою обчислення їх відстані від інших елементів в просторі ознак (ознакою в просторі ознак може, наприклад, бути кількість відвіданих ресторанів). Кількість незалежних ознак визначає розмірність простору ознак. Якщо елементи «близькі» один до одного, то їх можна об'єднати в один кластер.

Байєсівські мережі довіри візуально можуть бути представлені як орієнтований ациклічний граф, ребра якого являють пов'язані ймовірності змінних.

Ланцюги Маркова засновані на такому ж підході, як у байєсівських мереж довіри, але вирішують проблему вироблення рекомендації як послідовну оптимізацію, а не як просте прогнозування.

Класифікація за методом Роккіо використовує відгуки про релевантність елементів для підвищення точності рекомендацій.

Вибір принципу побудови і алгоритму для рекомендаційної системи повинен ґрунтуватися на цілях, які прагне досягти розробник. На даний момент існує безліч рішень і досліджень на тему розробки рекомендаційних систем в галузі туризму. Але всі вони мають як свої переваги, так і суттєві недоліки. Тому дана тема продовжує залишатися актуальною.

ВИСНОВКИ

У роботі були вивчені існуючі дослідження, а також розглянуті існуючі рішення в області побудови рекомендаційних систем для туризму, що підтверджує актуальність даної теми.

У результаті проведення аналізу підходів до побудови рекомендаційних систем було встановлено, що найбільш ефективними і точними є гібридні рекомендаційні системи, так як вони не обмежують розробника, чим дозволяють поєднувати в собі всі переваги систем з колаборативною фільтрацією, прецедентних систем і систем, заснованих на контенті.

Інформаційні технології

Також були проаналізовані найбільш поширені алгоритми рекомендаційних систем. Їх велику різноманітність можна пояснити прагненням до отримання якомога найбільш точних результатів рекомендації для користувача.

Висока точність результатів, які враховують всі параметри, задані користувачем, і інтелектуальність є найголовнішими завданнями рекомендаційних систем в галузі туризму.

Застосування рекомендаційних систем для туристів і туристичних агентств дозволяє не тільки заощадити час, але і в цілому значно спростити завдання пошуку місць для відпочинку і побудування маршрутів подорожі.

Перелік використаних джерел:

1. *Dareddy, M.* Challenges in Recommender Systems for Tourism / *M. Dareddy* // Workshop on Recommenders in Tourism held in conjunction with the 10th ACM Conference on Recommender Systems (RecSys) (Boston, September 15, 2016 y.). – Boston, 2016. – P. [1–3].
2. *Puhretmair, F.* Extended Decision Making in Tourism Information Systems / *F. Puhretmair, H. Rumetshofer, E. Schaumlechner* // EC-Web 2002: E-Commerce and Web Technologies : Third International Conference, EC-Web 2002: proceedings (Aix-en-Provence, September 2–6, 2002 y.). – Aix-en-Provence, 2002. – Vol. 2455. – P. 57–66.
3. *Дюlicheва, Ю. Ю.* Тенденции развития интеллектуальных веб-сервисов в индустрии туризма [Электронный ресурс] / *Ю. Ю. Дюlicheва* // Проблемы материальной культуры. Экономические науки. – 2012. – С. 30–31. – Режим доступа: <http://dspace.nbu.gov.ua/bitstream/handle/123456789/46149/08-Dyulicheva.pdf?sequence=1>
4. *Токарева, М. М.* О рекомендательной маршрутной системе, основанной на оценке предпочтений пользователя / *М. М. Токарева, Л. Л. Волкова* // Новые информационные технологии в автоматизированных системах. – 2016. – С. 75–79.
5. Коллаборативная фильтрация [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.ibm.com/developerworks/ru/library/os-recommender1/index.html>
6. Рекомендательные системы [Электронный ресурс] // LPGENERATOR. – Режим доступа: <https://lpgenerator.ru/blog/2015/12/25/rekomendatelnye-sistemy-chto-eto/>
7. *Трофимова, Е. В.* Разработка рекомендательной системы на базе анализа тональности текстовых сообщений [Электронный ресурс]: магистерская диссертация / *Е. В. Трофимова*. – СПб., 2015. – Режим доступа: <http://elib.spbstu.ru/dl/2/8592.pdf>

Федосова И. В., Бобрышева А. В.

ТЕНДЕНЦИИ И ПРОБЛЕМЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РЕКОМЕНДАТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ В ОБЛАСТИ ТУРИЗМА

В статье поставлены и проанализированы основные проблемы в области использования рекомендательных систем в сфере туризма, которые являются актуальными в наше время. Обоснована важность использования рекомендательных систем в туризме, связанная с обработкой больших объемов данных и принятием оптимального решения. Выполнен обзор существующих исследований и публикаций на тему использования рекомендательных систем в сфере туризма. Проанализированы несколько примеров решений поставленных проблем. Осуществлена классификация существующих систем в зависимости от информации, которую они предоставляют (маршрутные; которые содержат информацию об объектах культуры и отдыха), а также в зависимости от способа их построения (статические; основанные на

рекомендательных системах). Рассмотрены основные недостатки существующих решений. Проведен анализ подходов к построению рекомендательных систем (системы с коллаборативной фильтрацией, прецедентные системы, гибридные системы и системы, основанные на контенте). Рассмотрены основные отличия данных подходов, а также выбран и обоснован наиболее эффективный - построение гибридной системы, поскольку создание такой системы не ограничивает разработчика и позволяет соединить в себе несколько подходов к построению рекомендательных систем, поэтому такая система позволит учесть все нюансы построения путешествия для туриста. Рассмотрены основные отличия алгоритмов, которые широко используются в рекомендательных системах (корреляция Пирсона, алгоритмы кластеризации, байесовские сети доверия, цепи Маркова, классификация по методу Роккио). Установлено, что выбор алгоритма зависит от того, какую проблему должна решать разрабатываемая рекомендательная система.

Ключевые слова: *рекомендательная система, туризм, турист, подход, алгоритм, рекомендация, оптимальный маршрут, планирование, пользователь*

Fedosova I. V., Bobrysheva O. V.

TRENDS AND PROBLEMS OF USE OF RECOMMENDER SYSTEMS IN THE FIELD OF TOURISM

The article presents and analyzes the main problems of use of recommender systems in the field of tourism, which are relevant in our time. It substantiates the importance of recommender systems in tourism associated with the processing of large volumes of data and make better decisions. A review of the existing researches and publications on the use of recommender systems in the field of tourism was considered. Several examples of solutions to the problems posed were analyzed. The classification of existing systems is carried out depending on the information they provide (route ones, which contain information about cultural and leisure facilities), and also depending on how they are constructed (static; based on recommender systems). The main disadvantages of the existing solutions are considered. The analysis of approaches to the construction of recommender systems was carried out (collaborative filtering systems, precedent systems, hybrid systems and content systems). The main differences of these approaches are considered, and the most effective is chosen and justified - the construction of a hybrid system, since the creation of such a system does not limit the developer and allows to combine several approaches to the construction of recommender systems, therefore such a system will allow to take into account all the nuances of travel construction for a tourist. The main differences of algorithms that are widely used in recommender systems are considered (Pearson correlation, clustering algorithms, Bayesian belief networks, Markov chains, Rocchio classification). It was established that the choice of the algorithm depends on what problem the developed recommender system should solve.

Keywords: *recommender system, tourism, tourist, approach, algorithm, recommendation, optimal route, planning, user*

Рецензент: канд. техн. наук, доц. Левицька Т. О.

Стаття надійшла 21.11.2018 р.

УДК 621.891

Ищенко А. А., Радионенко А. В.

ТРИБОИССЛЕДОВАНИЕ АНТИФРИКЦИОННЫХ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ, ПРИМЕНЯЕМЫХ ДЛЯ РЕМОНТА ПАР ТРЕНИЯ СКОЛЬЖЕНИЯ

Приведены сведения о современных антифрикционных полимерных композиционных материалах, которые применяются для ремонта пар трения скольжения. Приведена методика исследований и описание лабораторной установки – трибометра. В работе экспериментально определены коэффициенты трения антифрикционных полимерных материалов «Моглайс», ДК 6, ДК 7, а также фторопласта и бронзы при трении этих материалов по стали в условиях граничной смазки. Сделаны выводы по результатам исследований.

Ключевые слова: полимерные композиционные материалы; коэффициенты трения; граничная смазка; трибометр.

Вступление. В последние годы активно внедряются в производство новые методы ремонта пар трения скольжения, которые позволяют с минимальными затратами и в кратчайшие сроки ввести в строй станочное оборудование. Одним из действенных путей повышения точности и надежности металлорежущих станков является применение в узлах трения – направляющих, шпиндельных узлах, муфтах, зубчатых и ременных передачах и других – прогрессивных антифрикционных материалов.

Применение таких материалов позволяет существенно повысить срок службы машин, безотказность в эксплуатации, уменьшить массу и габаритные размеры, сэкономить дорогостоящие легированные стали и цветные металлы, во многих случаях снизить трудоемкость изготовления узлов и упростить конструкцию.

В настоящее время известно большое количество материалов, пригодных для изготовления трущихся деталей. Наибольший интерес представляют антифрикционные материалы, которые дают возможность эксплуатировать узлы трения в условиях ограниченной смазки или без нее. Среди таких материалов наиболее эффективными и перспективными являются полимеры и композиции на их основе.

Общие сведения о композиционных материалах. Композиционными принято называть материалы, не встречающиеся в природе, т. е. искусственно созданные, состоящие из двух и более компонентов с определенными формами и распределением, различающихся по химическому составу и разделенных выраженной границей, имеющие свойства, отличные от свойств компонентов и определяемые каждым из компонентов, неоднородные в микромасштабе и однородные в макромасштабе [1].

Компонент, непрерывный во всем объеме композиционного материала, называют матрицей, а прерывистый в объеме композиции – наполнителем или армирующим элементом. В зависимости от геометрии и взаимного расположения последних, материалы могут быть изотропными, т. е. имеющими одинаковые свойства во всех направлениях, и анизотропными, свойства которых зависят от направления.

Композиционные материалы, матрица которых является полимером или связующим на его основе, называют полимерными материалами (ПМ).

Свойства ПМ определяются свойствами входящих в их состав компонентов, их соотношением, характером взаимодействия на границе раздела матрица - наполнитель и технологией изготовления. Типичные компоненты ПМ: полимерная матрица на основе термопластичных или терморезистивных полимеров; жесткий прочный наполнитель

(органической и неорганической природы) в виде частиц размером 0,2...1,2 мм, волокон, лент и т. д.; антифрикционные наполнители-добавки типа твердосмазочных или полимерных материалов в высокодисперсном состоянии.

В зависимости от метода изготовления полимерных деталей (литье, прессование, экструзия, намотка) содержание наполнителей составляет от 20...30 % до 80...90 %, антифрикционных добавок – 1...15 %.

От полимерной матрицы во многом зависят тепло- и влагостойкость, стойкость к агрессивным средам, диэлектрические и другие свойства ПМ, а также метод переработки ПМ в изделия. Образуют матрицу полимеры в чистом виде либо многокомпонентные связующие, состоящие из синтетической смолы, отвердителей, а также растворителей, пластификаторов, стабилизаторов и др.

Свойства матриц зависят от химического строения, физического состояния и структуры ПМ. В зависимости от природы, структуры, содержания, формы и размеров, распределения в материале, прочности сцепления с матрицей наполнителей получают ПМ различных свойств.

Наполнители делят по природе на органические и неорганические, по структуре на порошкообразные и волокнистые.

Порошкообразные наполнители обычно имеют частицы размером 1...15 мкм, реже до 100... 500 мкм.

Наибольшее распространение получили:

- углеродные материалы (графит и газовая сажа);
- синтетические продукты – аэросил (кабосил, ультрасил) и белая сажа;
- бентонит и каолин с частицами пластинчатой формы менее 2 мкм;
- вермикулит с частицами чешуйчатой формы размером 2...3 мкм;
- слюда с частицами пластинчатой слоистой формы размером 3...5 мкм;
- мел молотый (частицы размером 5...20 мкм); дезинтегрированный (5...8 мкм);

отмученный (2...5 мкм); химически осажденный (0.4 мкм).

Постановка задачи и методика проведения экспериментов. В последние годы все более широкое применение начинают получать технологии восстановления направляющих салазок суппортов металлорежущих станков с применением двухкомпонентных композитных материалов [2 – 5].

Задача данной работы состоит в определении антифрикционных свойств полимерных материала «Моглайс», ДК 6, ДК 7, а также для сравнения фторопласта и бронзы. Определялись коэффициенты трения этих материалов по стали.

Полимерные материалы ДК 6 и ДК 7 созданы на основе полимерной матрицы с различными наполнителями, содержащими дисульфид молибдена, графит и др.

Исследование коэффициента трения скольжения. Экспериментальное определение коэффициента трения скольжения выполнялось на лабораторной установке – трибометре (рис. 1).

Конструкция трибометра (А. с. № 1215020), позволяет контролировать момент трения, суммарный линейный износ образца и контрообразца, температуру в зоне трения и толщину смазочной пленки. В качестве контрообразца используется гибкая стальная лента [6].

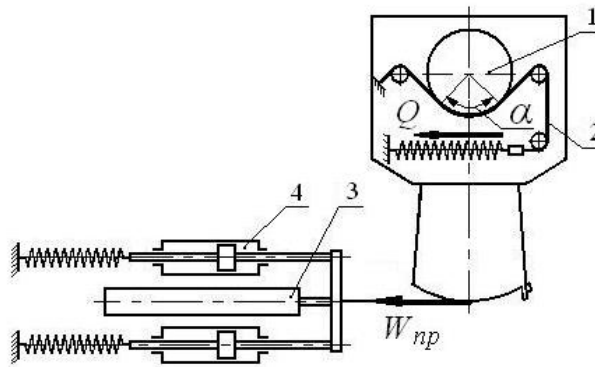


Рисунок 1 – Схема трибометра: 1– образец; 2 – контрообразец в виде стальной ленты; 3 – датчик момента трения; 4 – воздушные демпферы

Коэффициент трения при схеме «вал-лента» определяется по формуле, полученной из уравнения Эйлера:

$$f = \frac{\ln\left(\frac{6,66 \cdot W_{np}}{Q} + 1\right)}{\alpha}, \quad Q = \frac{N}{\sin \alpha / 2}, \quad (1)$$

где 6,66 – величина передаточного коэффициента, учитывающего соотношение диаметра образца и плеча каретки трибометра;

N - усилие нагружения образца;

Q - сила натяжения ленты;

α - угол охвата образца лентой;

W_{np} - сила действия возвратных пружин каретки трибометра.

Образцом служил цилиндрический валик диаметром 30 мм и длиной 40 мм. В качестве контрообразца использовалась стальная лента из стали У8 толщиной 0,06 мм с шероховатостью Ra 0,1-0,2 мкм. Металлическая лента за счет своей малой толщины достаточно гибкая, что позволяет ей самоустанавливаться на образце, исключая погрешности расположения и погрешности формы, и таким образом, уравнивая номинальную и контурную площади контакта. Трибометр снабжен воздушным демпфером для уменьшения автоколебаний и индуктивным датчиком момента трения. Привод трибометра имеет возможность бесступенчатого регулирования частоты вращения образца. Различное усилие нагружения достигается за счет 2-х пружин растяжения и применения контрообразцов различной длины. Данная конструкция трибометра позволила проводить испытания при давлениях до 2 МПа на образец и усилиях нагружения до 470 Н. Малая толщина ленты дала возможность контролировать температуру в зоне трения с высокой точностью. Это достигалось напайкой хромель-копелевой термопары \varnothing 0,2 мм непосредственно на ленту контрообразца над зоной трения. При исследовании контролировался момент трения и подсчитывался коэффициент трения по формуле, полученной на основании уравнения Эйлера.

Подготовка образцов и материала «Моглайс». Все образцы изготавливаются одного размера и формы – цилиндр диаметром 30 мм и длиной 40 мм..

Для опытов необходимо изготовить образцы из «Моглайса», ДК 6, ДК 7. Поскольку это достаточно дорогостоящие материалы, то изготовление образцов полностью из них

Ремонт та відновлення деталей машин

нецелесообразно, поэтому материал наносят на металлическую основу. Благодаря тому, что материалы до затвердевания достаточно жидкотекучие, то это можно сделать нагнетанием в специальную форму.

Необходимое количество материала и отвердителя смешивается в пропорции 5:1. После соединения основы и отвердителя смесь тщательно перемешивается и заливается в шприц. После того, как смешивание окончено материал нагнетают в специальную форму. Для затвердевания материала необходимо 8 часов.

Для эксперимента также изготавливались образцы вышеуказанных размеров из бронзы и фторопласта.

Изготовленные из полимерного материала «Моглайс», ДК 6 и ДК 7 образцы испытывались на коэффициент трения с применением турбинного масла в виде смазки, при скорости равной 20 об/мин. Температура в зоне трения изменялась в пределах 26 – 33 С°.

Результаты испытаний представлены на рисунке 2.

Аналогично проводились эксперименты с образцами, изготовленными из фторопласта и бронзы.

Результаты исследований. На рисунке 2 представлены результаты экспериментальных исследований коэффициентов трения скольжения для полимерных материалов «Моглайс», ДК 6, ДК 7, а также фторопласта и бронзы.

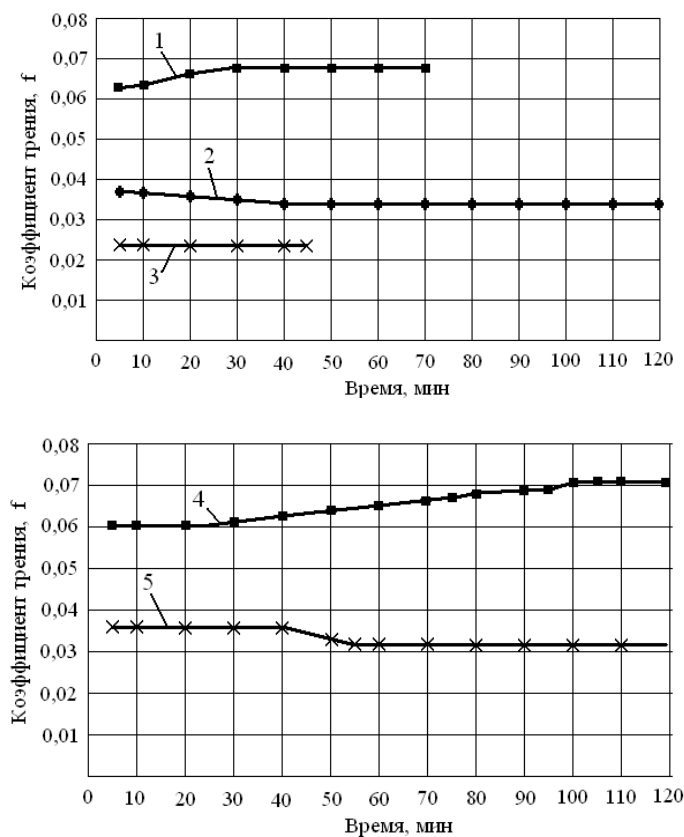


Рисунок 2 – Экспериментальные коэффициенты трения скольжения:
 1 – ДК 7; 2 – ДК 6; 3 – фторопласт; 4 – полимерный материал «Моглайс»; 5 – бронза

В ходе проведения эксперимента были определены коэффициенты трения полимерных материалов, а также материалов чаще всего используемых при восстановлении направляющих станков, а именно бронза и фторопласт.

Ремонт та відновлення деталей машин

В литературе приводятся следующие значения коэффициентов трения фторопластовых поверхностей при смазывании их жидким смазочным материалом: при граничном трении – 0,021...0,026, а для бронзовых – 0,028...0,038.

Следовательно, значения коэффициента трения для бронзы и фторопласта, полученные экспериментально, входят в диапазон уже известных из литературы значений.

По итогам испытаний был определен материал с наименьшим коэффициентом трения – фторопласт (0,024), но при этом фторопласт уступает моглайсу в износостойкости и прочности, а также в других механических характеристиках (табл. 1).

Таблица 1 – Механические характеристики испытываемых материалов

Параметр	Моглайс	Фторопласт	Бронза БРО10Ц2	ДК 6	ДК 7
Коэффициент трения, f	0.059	0.024	0.032	0.035	0.066
Прочность на сжатие, МПа	140	20	550-680	-	-
Износостойкость, мкм МПа*км	4.2	0.7	1.47	-	-
Удельный вес, г/см ²	1.7	2.2	8.7	-	-

Применение фторопласта в качестве материала для восстановления пар трения скольжения затруднительно в связи со сложностью изготовления и установки ремонтного комплекта фторопластовых пластин. Восстановление пар трения скольжения с помощью бронзы довольно сложно, так как требуется дальнейшая механическая обработка слоя бронзы и её предварительная наплавка на восстанавливаемую поверхность.

ВЫВОДЫ

Из выше сказанного, можно сделать вывод, что для восстановления пар трения скольжения целесообразно применять полимерные материалы, использование которых существенно упрощает ремонт оборудования за счет их свойств повторять формирующую их поверхность. Наилучший результат среди полимерных материалов показал ДК 6, так как он имеет сравнительно низкий коэффициент трения, но его механические свойства требуют дальнейших исследований. На данный момент в качестве материала для ремонта и восстановления пар трения скольжения следует использовать «Моглайс», т.к. его механические характеристики оптимальны для условий работы салазок суппортов металлорежущих станков.

Список использованных источников:

1. *Friedrich K.* Effects of various fillers on the sliding wear of polymer composites / *K. Friedrich, Z. Zhang, A. Schlarb* // *Composites Science and Technology*. – 2005. – Vol. 65, N 15–16. – P. 2329–2343.
2. *Bociaga, E.* Selected technical problems with polymer application on slide ways / *E. Bociaga, W. Baranowski* // *Technical sciences*. – 2005. – № 8. – P. 233–237.
3. *Буба, Е. Л.* Обзор опыта применения металлополимерных материалов фирмы «Diamant metallplastic GmbH» (Германия) для ремонтно-восстановительных работ на

Ремонт та відновлення деталей машин

предприятиях Республики Беларусь / Е. Л. Биба, Д. В. Синькевич, С. Н. Юркевич // Металлообработка. – 2004. – № 6 (24). – С. 41–44.

4. *Ищенко, А. А.* Исследование и применение полимерного материала «моглайс» для восстановления направляющих поверхностей салазок суппортов металлорежущих станков / *А. А. Ищенко, А. В. Радионенко, Е. А. Ищенко* // Проблемы тертя та зношування: наук.-техн. зб. – Київ, 2014. – Вип. 1 (62). – С. 23–29.

5. Антифрикционные эпоксидные композиты в станкостроении / *П. В. Сысоев* [и др.]. – Мн. : Наука и техника, 1990. – 231 с.

6. Радионенко А. В. Трибометр для исследования влияния качества поверхностей на состояние смазочной пленки // Машиноведение. – 1987. – № 6. – С. 93–97.

Ищенко А. О., Радионенко О. В.

ТРИБОДОСЛІДЖЕННЯ АНТИФРИКЦІЙНИХ ПОЛІМЕРНИХ МАТЕРІАЛІВ, ЗАСТОСОВУВАНИХ ДЛЯ РЕМОНТУ ПАР ТЕРТЯ КОВЗАННЯ

Наведено відомості про полімерних композиційних матеріалах, які застосовуються для ремонту пар тертя ковзання. Показано, що властивості полімерних матеріалів визначаються властивостями вхідних в їх склад компонентів, їх співвідношенням, характером взаємодії на кордоні розділу матриця - наповнювач і технологією виготовлення. Завдання даної роботи полягає у визначенні антифрикційних властивостей полімерних матеріалу «Моглайс», ДК6, ДК7, а також для порівняння фторопласта і бронзи. Визначалися коефіцієнти тертя цих матеріалів по сталі. Експериментальне визначення коефіцієнта тертя ковзання виконувалося на лабораторній установці - трибометр.

Конструкція трибометр дозволяє контролювати момент тертя, сумарний лінійний знос зразка і контрзразка, температуру в зоні тертя і товщину мастильної плівки. Зразком служив циліндричний валик діаметром 30 мм і довжиною 40 мм. Як контрзразок використовувався сталевий стрічка зі сталі У8 товщиною 0,06 мм з шорсткістю Ra 0,1-0,2 мкм.

Наведено методику досліджень і опис лабораторної установки - трибометр. В роботі експериментально визначені коефіцієнти тертя антифрикційних полімерних матеріалів «Моглайс», ДК 6, ДК 7, а також фторопласта і бронзи при терті цих матеріалів по сталі в умовах граничного змащення. Для відновлення пар тертя ковзання допустимо застосовувати полімерний матеріал ДК 6, так як він має порівняно низький коефіцієнт тертя. На даний момент в якості матеріалу для ремонту і відновлення пар тертя ковзання слід використовувати «Моглайс», тому що його механічні характеристики оптимальні для умов роботи санчат супортів металорізальних верстатів.

Ключові слова: полімерні композиційні матеріали; коефіцієнти тертя; граничне мастило; трибометр.

Ishchenko A. A., Radionenko A. V.

TRIBO RESEARCH OF ANTIFRICTION POLYMER MATERIALS APPLIED FOR REPAIR OF SLIDING PAIRS

It is given the information of polymer composite materials used to repair sliding friction pairs. It is shown that the properties of polymeric materials are determined by the properties of their constituent components, their ratio, the nature of the interaction at the interface of the matrix - filler and manufacturing technology. The task of this work is to determine the antifriction properties

Ремонт та відновлення деталей машин

of the polymeric material “Moglice”, DK6, DK7, as well as to compare fluoroplastic and bronze. The friction coefficients of these materials on steel were determined. Experimental determination of the coefficient of sliding friction was carried out in a laboratory installation - tribometer.

The design of the tribometer makes it possible to control the frictional moment, the total linear wear of the sample and the counter piece, the temperature in the friction zone and the thickness of the lubricating pellicle. The sample was a cylindrical roller with a diameter of 30 mm and a length of 40 mm. A steel tape of steel U8 thickness of 0.06 mm with a surface roughness Ra of 0.1-0.2 μm was used as a counter piece.

The research methodology and description of the laboratory installation - tribometer is given. The work has experimentally determined the friction coefficients of antifriction polymeric materials “Moglice”, DK 6, DK 7, as well as fluoroplastic and bronze during friction of these materials on steel under boundary lubrication conditions. It is permissible to apply polymer material DK 6, as it has a relatively low friction coefficient, to restore sliding friction pairs. Currently, “Moglice” should be used as a material for repair and restoration of sliding friction pairs, as its mechanical characteristics are optimal for the working conditions of the slide of metal-cutting machine supports.

Keywords: polymer composite materials; friction coefficients; boundary lubrication; tribometer

Рецензент: д-р техн. наук, професор Самотугин С. С.

Статья поступила 01.11.2018 г.

УДК 621.941.2:534.1:678.02

Карпенко Т. М., Іщенко О. А.

АНАЛІЗ ФРИКЦІЙНИХ АВТОКОЛИВАНЬ СУПОРТУ ТОКАРНО-ГВИНТОРІЗНОГО ВЕРСТАТУ ПО НАПРЯМНИХ З ПОЛІМЕРНОГО МАТЕРІАЛУ

Розглядаються фрикційні автоколивання динамічної моделі, до якої зведено супортний вузол токарно-гвинторізного верстата з направляючими, виконаними з полімерного матеріалу. Досліджувана механічна система замінена динамічною моделлю з одним ступенем вільності, якщо в якості узагальненої координати вибране переміщення каретки супорта, що відрховується від моменту зриву її з місця. Враховано такі параметри: конструктивні: маса супорта; осьові моменти інерції ходового гвинта і муфти; пружні властивості при крутильній деформації фрикційної муфти; деформації розтягування гвинта; складові сили різання, а також коефіцієнт розсіювання енергії і коефіцієнти тертя пари «чавун - полімер».

Для складання диференціального рівняння руху моделі застосоване рівняння Лагранжа другого роду. Отримані формули узагальнених відносних швидкості і прискорення в будь-який момент часу, дозволили пов'язати зазначені вище параметри, критичну швидкість і момент можливої першої зупинки супорта. Якщо привід задає швидкість, яка менше критичної, почнеться стрибкоподібний рух каретки супорта. Чисельний аналіз для досліджуваного верстата виконаний за запропонованою блок - схемою з допомогою математичного редактора MathCad. Результати обчислень для різних різниць коефіцієнтів тертя спокою і руху представлені таблицею. Отримані результати величин критичної швидкості, при якій починається стрибкоподібний рух супорта, свідчать про те, що застосування полімерного матеріалу дозволяє для даного типу верстата фактично виключити явище «стик - зліп» та прогнозувати зниження цієї межі і для інших типів

Ремонт та відновлення деталей машин

верстатів, перш за все, важконавантажених. Запропонована методика визначення критичної швидкості в залежності від поєднання інерційних, конструктивних, жорсткісних параметрів та від енергії розсіювання, а також коефіцієнтів тертя, може бути застосована для інших верстатів.

Ключові слова: динамічна модель, критична швидкість, фрикційні релаксаційні коливання.

Розглядаються фрикційні автоколивання супорту з метою визначення критичної швидкості руху каретки по напрямних, які покриті полімерним матеріалом. Отриманий розв'язок диференціального рівняння руху динамічної моделі (до якої зведений об'єкт вивчення), скориставшись яким з'ясували залежності критичної швидкості від параметрів інерційних, жорсткісних, дисипативних та триботехнічних для пари тертя «чавун – полімер».

Рівняння Лагранжу другого роду, критична швидкість, MathCad.

Постановка проблеми. В останні роки в верстатобудуванні застосування полімерних матеріалів для покриття чавунних напрямних дозволяють сформулювати ідеальну контактну пару, яка зменшує інтенсивність зношення напрямних [1]. Разом з тим, мало досліджені виникаючі фрикційні автоколивання (ФА), причиною яких є змінність сил тертя на напрямних, що вкриті новим полімером. В то же час, ці релаксаційні коливання можуть викликати значні навантаження на вузли верстату і ріжучий інструмент, а також похибки при обробці деталей. Тому актуальним є вивчення ФА з точки зору виникнення цих коливань в супортному вузлі верстату в залежності від дисипативних характеристик та різниці коефіцієнтів тертя руху і спокою.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Вперше на виникнення стрибкоподібних рухів тіла на жорсткій поверхні звернули увагу Ішлинський А. Ю. і Крагельський І. В. [2]. Дослідженнями вібрацій в верстатах займалися науковці: Вейц В. Л., Кудинов В. А., Рівін Є. І. [3 - 5] та інші. Фрикційні автоколивання та вібраційні переміщення в системах з однією або двома ступенями вільності досліджували вчені в роботах [6 - 8]. Проблемам значень критичних швидкостей для дисипативно-пружних систем, зокрема в верстатах, присвячені роботи науковців Пуша В. Є. [9, 10], Ельясберга М. Є. [11].

Мета дослідження. Для дослідження ФА у супортному вузлі верстату побудувати динамічну модель та отримати диференціальні рівняння руху з метою визначення критичної швидкості подачі в залежності від параметрів об'єкту вивчення.

Основний матеріал дослідження. Як відомо, верстат – це коливальна система з нескінченною кількістю ступенів вільності тому, що пружні елементи деформуються в різних напрямках і мають розподілені маси. Точне вивчення динаміки верстату не можливе. Для спрощення обмежують кількість ступенів вільності і досліджують домінуючі, з точки зору коливань, вузли верстату.

В даному випадку об'єкт дослідження – механічна система «супорт – привід» верстату, що складається з: ходового гвинта, муфти, каретки супорта та різцетримача, замінимо динамічною моделлю. Параметрами для моделі, як відомо, є:

- маси та моменти інерції деталей;
- коефіцієнти жорсткості пружних елементів;
- дисипативні та триботехнічні параметри з'єднань;
- передавальні відношення швидкостей.

Виходячи з кінематичної схеми, будемо зводити інерційні, пружні, дисипативні параметри та сили до центру ваги каретки супорту. Заміна реального об'єкту динамічною моделлю, як відомо [12], базується на таких положеннях:

1. Кінетична енергія ланки зведення еквівалента кінетичній енергії об'єкту вивчення.

Ремонт та відновлення деталей машин

2. Потенціальна енергія пружних деформацій об'єкту дорівнює потенціальній енергії деформації ланки зведення.

3. Дисипативні функції об'єкту і ланки зведення еквівалентні.

Одним із способів складання диференціального рівняння руху моделі є метод рівнянь Лагранжу другого роду, який і буде застосований в роботі. В якості узагальненої координати візьмемо координату x , що характеризує положення каретки супорту відносно нерухомого спостерігача. Кут повороту гвинта φ у передачі гвинт-гайка пов'язаний з координатою x формулою:

$$\varphi = \frac{2\pi}{h} x, \quad (1)$$

де h - крок гвинта, м.

Кінетична енергія системи складається з кінетичних енергій супорта, гвинта та муфти.

$$T_{\text{системи}} = \frac{1}{2} m_c \dot{x}^2 + \frac{1}{2} I_\Gamma \dot{\varphi}^2 + \frac{1}{2} I_M \dot{\varphi}^2. \quad (2)$$

де: m_c - маса супорта, кг;

I_Γ - осьовий момент інерції гвинта, $\text{кг} \cdot \text{м}^2$;

I_M - осьовий момент інерції муфти, $\text{кг} \cdot \text{м}^2$;

Враховуючи залежність між координатами x та φ , маємо зв'язок між швидкостями:

$$\dot{\varphi} = \delta \dot{x}, \quad \delta = \frac{2\pi}{h}. \quad (3)$$

Маємо величину маси, зведеної до каретки

$$m = m_c + (I_\Gamma + I_M) \delta^2. \quad (4)$$

Зведений коефіцієнт жорсткості c знайдемо, враховуючи деформацію розтягування гвинта c_Γ та крутильну деформацію муфти $c_{кр}$. Потенціальна енергія деформації при закрученні на кут $\varphi = x \cdot \delta$ дорівнює

$$\Pi_{кр} = \frac{1}{2} c_{кр} (\varphi_B - \varphi)^2, \quad (5)$$

де $\varphi_B = \omega_0 t$ - кут повороту валу з швидкістю ω_0 .

Враховуючи те, що гвинт та муфта з'єднані послідовно, маємо після розкриття формули (5), потенціальну енергію деформацій об'єкту $\Pi = \frac{1}{2} c x^2 - c_{кр} \omega_0 \cdot t \cdot x$,

$$\text{де } c = \frac{c_\Gamma \cdot c_{кр} \cdot \delta^2}{c_\Gamma + c_{кр} \cdot \delta^2}. \quad (6)$$

Дисипацію енергії в з'єднаннях та напрямних верстату відображає функція Релея, яка пропорційна квадрату узагальненої швидкості, тобто $\Phi = \frac{1}{2} b \dot{x}^2$,

де b - узагальнений коефіцієнт опору, що дорівнює, [9], $b = \frac{\psi \sqrt{c \cdot m}}{2\pi}$,

ψ – коефіцієнт розсіювання енергії.

Як показали дослідження [9], сили тертя, що виникають на напрямних суттєво залежать від швидкості руху каретки супорта. Спрощену характеристику тертя зображено на рисунку 1 [15].

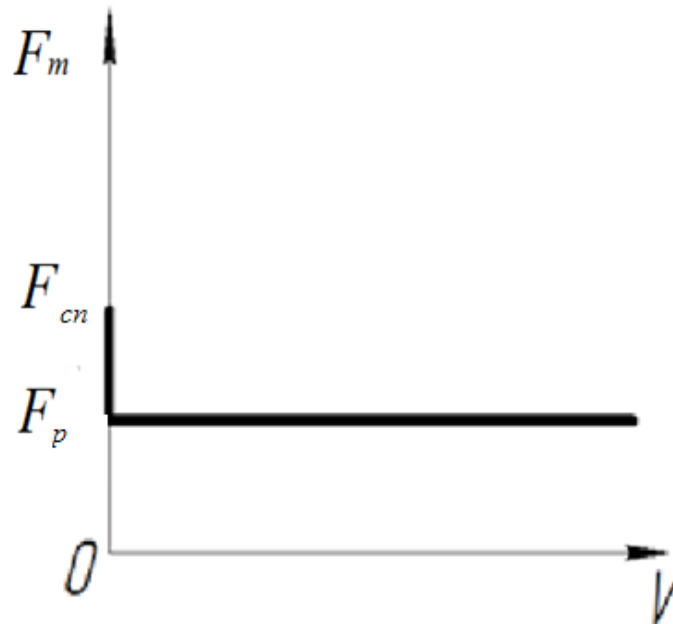


Рисунок 1 – Спрощена характеристика тертя

Наявність «падаючої» ділянки графічної залежності коефіцієнта тертя від швидкості є необхідною умовою збудження фрикційних автоколивань [15]. Таким чином, для дослідження ФА маємо розрахункову схему (рис. 2), де: P_x , P_z – складові сили різання, G – вага супорта, N – складова реакції напрямних, $F_{тер}$ – сила тертя, V_0 – швидкість подачі.

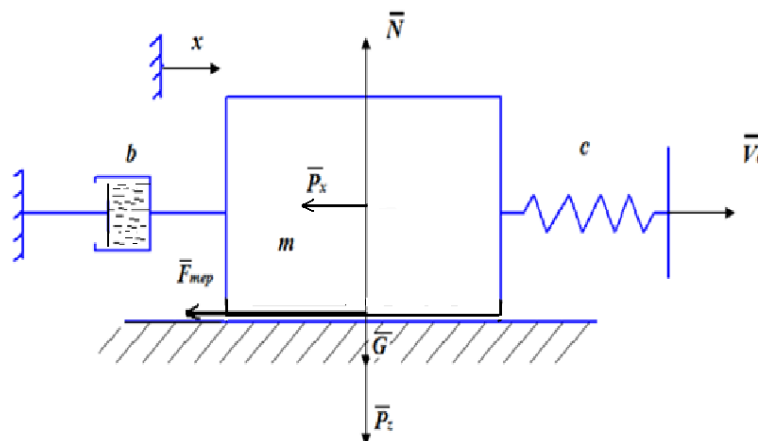


Рисунок 2 – Розрахункова система фізичної моделі супортної групи

Складемо диференціальне рівняння руху цієї моделі з допомогою рівняння Лагранжу другого роду:

Ремонт та відновлення деталей машин

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial T}{\partial \dot{x}} \right) - \frac{\partial T}{\partial x} = - \frac{\partial \Pi}{\partial x} - \frac{\partial \Phi}{\partial x} + Q_x^{(\text{неп})}, \quad (7)$$

де $Q_x^{(\text{неп})}$ - узагальнена непотенціальна сила, яка складається з сили тертя і сили різання $Q_x^{(\text{неп})} = Q_x^{\text{тер}} + P_x$

Оскільки за початок відліку координати x прийнято момент зриву супортної каретки, на масу m в першу мить діє узагальнена сила тертя, яка дорівнює, [9], $Q_x^{(\text{тер})} = \Delta f \cdot (m_c g + P_z)$.

Складові сили різання P_x та P_z прикладені до різцетримача, величини які обчислюють в залежності від товщини і ширини шару, що зрізається; ширини площі контакту по задній грані ріжучого леза, подачі і характеристик оброблювального матеріалу [13].

Для подальших досліджень введемо змінну x_Δ , де $x_\Delta = x - v_0 t$ - відносне відхилення руху маси від рівномірного руху з швидкістю v_0 . Тоді диференціальне рівняння (7) відносного руху має вигляд

$$\ddot{x}_\Delta + 2n\dot{x}_\Delta + k^2 x_\Delta = \left(\frac{\Delta F + P_x}{m} - 2nv_0 \right) + v_0 \left(\frac{c_{\text{кр}} \cdot \delta^2}{m} - k^2 \right) t, \quad (8)$$

де введені позначення $2n = \frac{b}{m}$, $k^2 = \frac{c}{m}$.

Для випадку малого лінійного опору, коли $n < k$, при початкових умовах: $x_{\Delta|t=0} = 0$, $\dot{x}_{\Delta|t=0} = -v_0$, маємо закон відносного руху

$$x_\Delta = A + v_0(\bar{c} - 1) \cdot t - e^{-nt} \left[A \cos k_1 t + \left(\frac{An}{k_1} + \bar{c} \frac{v_0}{k_1} \right) \sin k_1 t \right], \quad (9)$$

$$\text{де } A = \frac{\Delta F + P_x}{c} - \frac{2n}{k^2} \bar{c} v_0, \quad \bar{c} = \frac{c_{\text{кр}} \delta^2}{c}, \quad k_1 = \sqrt{k^2 - n^2}.$$

Визначимо так звану «критичну» швидкість руху $v_{\text{кр}}$, яка характеризує початок руху з зупинками. Для цього прирівняємо швидкість і прискорення нулю, а замість швидкості v_0 маємо $v_{\text{кр}}$, замість довільного часу t маємо t_1 - момент, при якому відбудеться перша зупинка. Тоді отримаємо систему рівнянь:

$$\begin{cases} \frac{\Delta F + P_x}{m} \cos k_1 t_1 - \left(\frac{\Delta F + P_x}{m} \cdot \frac{n}{k_1} - \frac{k^2}{k_1} v_{\text{кр}} \bar{c} \right) \sin k_1 t_1 = 0 \\ v_{\text{кр}} \left[(\bar{c} - 1) e^{nt_1} - \bar{c} \cos k_1 t_1 - \frac{n\bar{c}}{k_1} \sin k_1 t_1 \right] + \frac{\Delta F + P_x}{mk_1} \sin k_1 t_1 = 0, \end{cases} \quad (10)$$

Розв'язання системи трансцендентних рівнянь (10) рекомендується виконувати з допомогою алгоритму, схема якого показана на рис. 3.

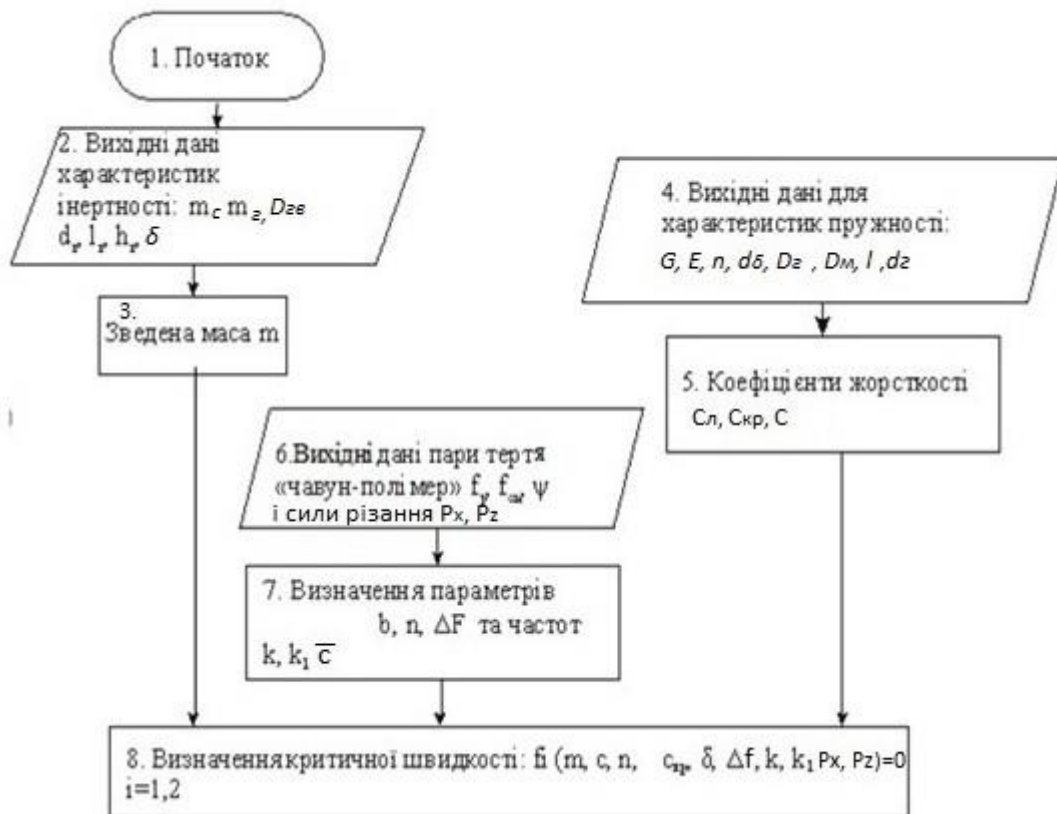


Рисунок 3 – Схема алгоритму для визначення «критичної» швидкості

Визначення критичної швидкості для верстату 16К20. Виходячи з конструктивних та масових даних для верстату, маємо вихідні дані:

Маса супорта $m_c=80$ кг, маса ходового гвинта $m_r=16,7$ кг, діаметри гвинта $D_r=4,4 \cdot 10^{-2}$ м, $d_r=3 \cdot 10^{-2}$ м, крок гвинта $h=0,012$ м, модулі пружності $E = 2,1 \cdot 10^{11} \frac{H}{m^2}$, $G = 8 \cdot 10^{10} \frac{H}{m^2}$, довжина гвинта $l = 1,7$ м

Дані фланцевої муфти: діаметр болтів $d_6=1 \cdot 10^{-2}$ м, кількість болтів $n=8$, D_1 – діаметр фланцю, $D_1=0,085$ м, D_2 – діаметр втулки, $D_2=0,055$ м, діаметр валу $d=0,03$ м, $l_1=0,01$ м, $l_2=0,03$ м, густина матеріалу $\rho=7800 \frac{кг}{m^3}$.

Коефіцієнт розсіювання енергії найбільше значення має в площині контакту каретки супорта з напрямними і змінюється, згідно дослідженням Пуша В. Е. [9], в границях $\psi = 0,3 \dots 0,5 - 0,7$. Для полімерного матеріалу застосовуємо значення $\psi = 0,5, \psi = 0,7$. Різниця коефіцієнтів тертя змінюється в інтервалі $\Delta f = 0,05 \div 0,08$. []

Складові сили різання дорівнюють $P_x=50$ Н, $P_z=143$ Н.

Далі діємо за алгоритмом (рис. 3).

1) Визначення зведеної маси. Застосовуємо формулу (4), в якій моменти інерції гвинта та муфти дорівнюють

$$I_r = \frac{m_{ГВ}}{2} \left(\frac{D_{ГВ}^2}{4} + \frac{d_{ГВ}^2}{4} \right), I = 59,2 \cdot 10^{-4} \text{ кг} \cdot \text{м}^2$$

$$I_m = \frac{\pi \rho}{32} [l_1(D_1^4 - D_2^4) + l_2(D_2^4 - d^4)], I_m = 5,5 \cdot 10^{-4} \text{ кг} \cdot \text{м}^2$$

Ремонт та відновлення деталей машин

З врахуванням (3), зведена маса дорівнює $m=1853,2$ кг.

2) Визначення коефіцієнту жорсткості. Лінійний коефіцієнт жорсткості гвинта дорівнює $c_{л} = \frac{E\pi(D_{гв}^2 - d_{гв}^2)}{4l} = 10,046 \cdot 10^7 \frac{Н}{м}$. Коефіцієнт крутильної жорсткості фланцевої муфти знаходимо за формулою, [14], $c_{кр} = \frac{G\pi D_2^4}{32} \cdot 0,5n \frac{d_8^2}{D_2^2} = 94,985 \cdot 10^2 \frac{Н \cdot м}{рад}$. З врахуванням коефіцієнта δ , отримаємо за формулою (6) зведений коефіцієнт жорсткості:

$$c = \frac{c_{л} \cdot c_{кр} \cdot \delta^2}{c_{л} + c_{кр} \cdot \delta^2} = 9,672 \cdot 10^7 \frac{Н}{м}$$

3) Визначивши параметри рівнянь (10), скориставшись математичним редактором MathCad, отримаємо значення t_1 та $v_{кр}$. В таблиці представлені значення критичної швидкості при різних Δf .

Таблиця 1 Значення критичної швидкості

Значення критичної швидкості, мм/хв		
Δf	$\psi = 0,5$	$\psi = 0,7$
0,05	0,067	0,409
0,06	0,073	0,448
0,07	0,08	0,488
0,08	0,086	0,527

ВИСНОВКИ

1) Отримані результати величин критичної швидкості, при якій починається стрибкоподібний рух супорта, свідчать про те, що застосування полімерного матеріалу дозволяє для даного типу верстата фактично виключити явище «стик - зліп» та прогнозувати зниження цієї межі і для інших типів верстатів, перш за все, важконавантажених.

2) Запропонована методика визначення критичної швидкості в залежності від поєднання інерційних, конструктивних, жорсткісних параметрів і від енергії розсіювання, а також коефіцієнтів тертя може бути застосована для інших верстатів.

Перелік використаних джерел:

7. *Ищенко, А. А.* Новые технологии восстановления направляющих металлообрабатывающих станков / *А. А. Ищенко* // Оборудование и инструмент для профессионалов. – 2003. – № 2. – С. 26–27.
8. *Ишлинский, А. Ю.* О скачках при трении / *А. Ю. Ишлинский, И. В. Крагельский.* – Журнал технической физики. – 1944. – Т. 4, вып. 4-5. – С. 276–282.
9. Вынужденные колебания в металлорежущих станках / *В. Л. Вейц [и др.]*. – М.; Л. : Машгиз, 1959. – 288 с.
10. *Кудинов, В. А.* Динамика металлорежущих станков / *В. А. Кудинов.* – М. : Машиностроение, 1967. – 380 с.
11. *Ривин, Е. И.* Динамика привода станков / *Е. И. Ривин.* – М. : Машиностроение, 1966. – 204 с.
12. *Крагельский, И. В.* Фрикционные автоколебания / *И. В. Крагельский, Н. В. Гитис.* – М. : Наука, 1987. – 181 с.
13. *Нагаев, Р. Ф.* Периодические режимы вибрационного перемещения / *Р. Ф. Нагаев.* – М. : Наука, 1976. – 160 с.

14. Шамберов, В. Н. Фрикционные автоколебания в механических системах / В. Н. Шамберов // Известия вузов. Приборостроение. – 2018. – т. 61, № 4. – С. 24–28.
15. Пуш, В. Э. Малые перемещения в станках / В. Э. Пуш. – М. : ГНТИМЛ, 1961. – 124 с.
16. Металлорежущие станки / под ред. В. Э. Пуша. – М. : Машиностроение, 1986. – 576 с.
17. 11. Эльясберг, М. Е. Расчет механизмов подачи металлорежущих станков на плавность и чувствительность перемещения (о разрывных колебаниях при трении) / М. Е. Эльясберг // Станки и инструмент. – 1951. – № 11-12. – С. 1–7.
18. Кожевников, С. Н. Динамика машин с упругими связями / С. Н. Кожевников. – Киев : Изд-во Академии наук Украинской ССР, 1961. – 160 с.
19. Проников, А. С. Расчет и конструирование металлорежущих станков / А. С. Проников. – М. : Высш. школа, 1967. – 434 с.
20. Маслов, Г. С. Расчеты колебания валов / Г. С. Маслов. – М. : Машиностроение, 1980. – 152 с.
21. Пановко, Я. Г. Основы прикладной теории упругих колебаний / Я. Г. Пановко. – М. : Машиностроение, 1967. – 316 с.

Карпенко Т. Н., Ищенко А. А.

АНАЛИЗ ФРИКЦИОННЫЕ АВТОКОЛЕБАНИЙ СУППОРТ ТОКАРНОГО - ВИНТОРЕЗНЫЙ СТАНОК ПО НАПРАВЛЯЮЩИМ ИЗ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Рассматриваются фрикционные автоколебания динамической модели, к которой приведен суппортный узел токарно-винторезного станка с направляющими, выполненными с полимерного материала. Изучаемая механическая система заменена динамической моделью с одной степенью свободы, если в качестве обобщенной координаты выбрано перемещение каретки суппорта, отсчитываемое от момента срыва ее с места. Учтены следующие параметры: конструктивные: масса суппорта; осевые моменты инерции ходового винта и муфты; упругие свойства при крутильной деформации фрикционной муфты; деформации растяжения винта; составляющие силы резания, а также коэффициент рассеивания энергии и коэффициенты трения пары «чугун - полимер».

Для составления дифференциального уравнения движения модели применено уравнение Лагранжа второго рода. Полученные формулы обобщенных относительных скорости и ускорения в любой момент времени позволили связать означенные выше параметры, критическую скорость и момент возможной первой остановки суппорта. Если привод задает скорость, которая меньше критической, начнется скачкообразное движение каретки суппорта. Численный анализ задачи для изучаемого станка выполнен по предложенной блок – схеме с помощью математического редактора MathCad. Результаты вычислений для различных разностей коэффициентов трения покоя и движения представлены таблицей. Полученные результаты величин критической скорости, при которой начинается скачкообразное движение суппорта, свидетельствуют о том, что применение полимерного материала позволяет для рассматриваемого типа станка фактически исключить явление «стык - слип», а также прогнозировать снижение этой границы для других типов станков, прежде всего, тяжелонагруженных. Предложенная методика определения критической скорости в зависимости от сочетания инерционных, конструктивных, жесткостных параметров и от энергии рассеивания, а также коэффициентов трения может быть применена для других станков.

Ключевые слова: динамическая модель, критическая скорость, фрикционные релаксационные колебания.

Karpenko T. M., Ishchenko O. A.

ANALYSIS OF FRICTION AUTOMATIC SURFACES OF TORQUE - GUINTHORIZED VERNATURE SOURCES BY RANGE OF POLYMERNAL MATERIAL

We consider frictional self-oscillations of the dynamic model, to which the supporting unit of the lathe - screw cutting machine with guides made of polymer material. The studied mechanical system is replaced by a dynamic model with one degree of freedom if the movement of the support carriage is selected as the generalized coordinate, counted from the moment of disrupting it from the spot. The following parameters are taken into account: constructive: mass of the support; axial moments of inertia of the lead screw and clutch; elastic properties for torsional deformation of the friction clutch; deformation of the screw tension; component cutting forces, as well as the energy dissipation factor and friction coefficients of the «cast iron-polymer» pair.

The Lagrange equation of the second kind is applied to compose the differential equation of motion of the model. The obtained formulas of generalized relative velocity and acceleration at any time allowed us to relate the above parameters, the critical speed and the moment of the possible first stop of the support. If the drive sets a speed that is less than the critical speed, the carriage will begin to joggle. Numerical analysis of the problem for the machine under study was carried out according to the proposed block diagram with the help of the mathematical editor MathCad. The results of the calculations for various differences in the rest and motion coefficients are presented in the table. The obtained results of the values of the critical speed at which the jump motion of the support starts, indicates that the use of a polymer material allows for the considered type of machine to virtually eliminate the phenomenon of «joint-slip» and predict a reduction of this boundary for other types of machines, especially heavy-loaded ones. The proposed method for determining the critical velocity, depending on the combination of inertial, structural, rigid parameters and the energy of scattering, as well as the friction coefficients, can be applied to other machines.

Keywords: dynamic model, critical velocity, frictional relaxation oscillations.

Рецензент: д-р техн. наук, профессор В.В. Суглобов

Статья поступила 20.10.2018 г.

УДК 621.135.2:627.212

Жилінков О. О., Золотницька О. Г.

УДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМИ АВТОМОБІЛЬНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ ВАНТАЖІВ У МОРСЬКИЙ ПОРТ

У статті розглянуті актуальні питання підвищення ефективності автомобільних перевезень до морського порту. Наведені результати досліджень вантажопотоків автотранспорту, які проходять через морський порт. Проведені дослідження умов перевезень і запропоновано новий спосіб транспортування з новою транспортною технологією. В якості додаткового елемента нової транспортної технології запропоновано похилий підйомник для транспортування вантажних автотранспортних засобів між двома висотними відмітками. Виконано розрахунок техніко-економічних показників.

Ключові слова: автотранспорт, автотранспортні засоби, автомобільні перевезення, система доставки вантажів, похилий автомобільний підйомник, морський порт, підйомна машина, економічні втрати, техніко-економічні показники.

Постановка проблеми. Морський порт міста Маріуполя здійснює переробку різних вантажів в системі інтермодальних і мультимодальних перевезень. Для доставки і вивезення вантажів використовується залізничний, морський каботажний і автомобільний транспорт. Загальний річний обсяг перевезень в даний час складає до 10 млн. т і більш. З них близько 2,5-3,5 млн. т припадає на автомобільний транспорт.

Автомобільні перевезення здійснюються автотранспортними засобами повною масою 25-40 т і більше. Через наявність тільки одного під'їзду до порту, значна частина автомобільних перевезень проходить по міських дорогах і вулицях. Крім того, під'їзна дорога має обмежену ширину і, як наслідок, малу пропускну здатність.

В результаті, великовантажний автотранспорт завдає серйозної шкоди інфраструктурі міста, сприяючи виникненню і зростанню різноманітних економічних втрат.

Тому, без кардинального вирішення даної проблеми величина економічних втрат буде зростати.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Приклади використання нестандартних способів транспортування вантажів (за допомогою автомобільних похилих підйомників) розглянуто у роботах [1-4]. Похилі підйомники у таких системах автомобільних перевезень застосовані для транспортування (підйому) автотранспортних засобів (автосамоскидів) на великих рудних та вугільних кар'єрах. Питання удосконалення автомобільних перевезень до морського порту шляхом використання похилих підйомників в літературі не розглянуто.

Мета роботи. Метою роботи є удосконалення системи доставки вантажів автомобільним транспортом у морський порт, де запропоновано використання похилого автомобільного підйомника.

Основний матеріал дослідження. Розглянутий морський порт переробляє наступні вантажі: метали всіх сортamentів і профілів, труби великого і малого діаметра, руди різні, вугілля, кокс, глина, каолін, добрива всіх видів, сірка комова і гранульована, обладнання, мазут, (за варіантом («борт-борт»)), зернові насипом, продовольчі вантажі всіх найменувань, контейнерні (20 і 40 футові контейнери), вантажі в пакетах та ін.

Вантажі автомобільного транспорту можна розділити на 4 основні групи: 1) металопродукція (сляби, товстий лист, рулони гаряче- і холоднокатаної сталі, листи гаряче- і холоднокатані в пачках, квадратна заготовка та ін.); 2) зернові вантажі (пшениця, соняшник та ін.); 3) рослинна олія; 4) контейнери. Більша частина цих перевезень (до 90 %) здійснюються автотранспортними засобами у складі сідельних тягачів і різноманітних за

призначенням напівпричепів. Параметри великовантажних автопоїздів відповідають нижче наведеним технічним характеристикам. Вантажопідйомність – 15-30 т, габаритна довжина – 12-22 м та більше, габаритна ширина - 2,5 м.

За даними промислових підприємств і порту, співвідношення обсягів автомобільних перевезень за видами вантажу розподіляється наступним чином. Металопродукція – 60-72 %, рослинна олія – 5-8 %, зернові вантажі – 25-36 % і контейнери – 0,7-1,8 %.

Перший етап дослідження, що пов'язаний з визначенням і розрахунком параметрів автомобільних вантажопотоків морського порту, було виконано раніше. Тобто визначено добові та річні обсяги перевезень і величини автомобільних потоків. Дані за обсягами перевезень (вантажопотоками) і автомобільних потоків у 2015-2017 р. р. по місяцях наведені на рис. 1 [1].

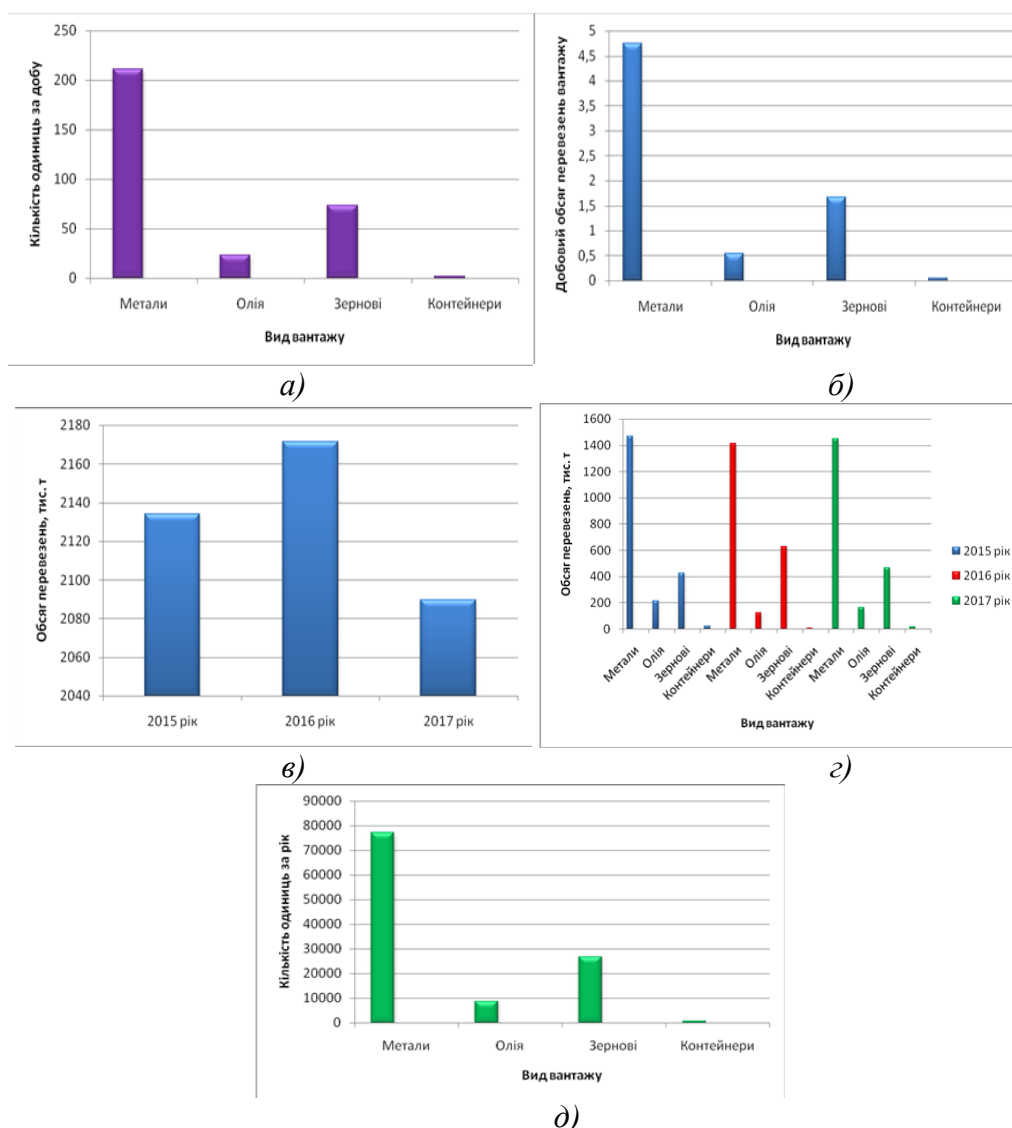


Рисунок 1 – Обсяги перевезень вантажів і автомобільні потоки:

а – добовий автомобільний потік перевезень за видами вантажів, од.; б – добові обсяги перевезень за видами, тис. т; в - річні загальні обсяги перевезень вантажів, за 2015-2017 р. р.; г - річні обсяги перевезень вантажів за видами (період 2015-2017 р.р.); д - річний автомобільний потік перевезень за видами вантажів, од.

Транспортні технології

Далі виконано аналіз існуючої системи перевезень з використанням автомобільного транспорту. Встановлено, що суттєвим недоліком існуючої системи є обмеженість автомобільного підходу до території порту. Маршрут автомобільних перевезень проходить по території міста, тобто розташований на вулично-дорожній мережі великого міста (рис. 2, а). Така система перевезень сприяє негативному впливу автотранспорту на інфраструктуру, безпеку руху та екологію міста [2]. Наявність даної системи, яка є недостатньо ефективною, пояснюється місцезнаходженням морського порту (безпосередньо на узбережжі) і складними умовами місцевості (сам порт знаходиться практично на рівні моря, а рівень міської забудови – на декілька десятків метрів вище). Тому функціонування існуючої системи автомобільних перевезень призводить до значних втрат і збитків.

Суттєво знизити величину втрат і збитків можна тільки якщо відокремити рух великовантажного автотранспорту, який обслуговує морський порт. Таким чином, в даній роботі запропоновано нестандартний спосіб (технологія) доставки вантажів автотранспортом. Нова технологія полягає в тому, що в систему перевезень включений додатковий засіб – автомобільний похилий підйомник (рис. 2, б).

Місцевість поблизу морського порту характеризується складним рельєфом, що оправдує облаштування підйомника. Нижній майданчик, на яку необхідно спускати вантажний автотранспорт, знаходиться на висоті приблизно 4 м над рівнем моря. Висота верхнього майданчика (автомобільного терміналу), на яку потрібно підводити автотранспорт з зовнішньої мережі, становить близько 60 м на відстані по горизонталі 400-500 м (рис. 3). Кут нахилу траси підйомника становить близько 15°. Існуюча мережа автодоріг та план місцевості дозволяє зробити автомобільний підхід практично без в'їзду на міську вулично-дорожню мережу.

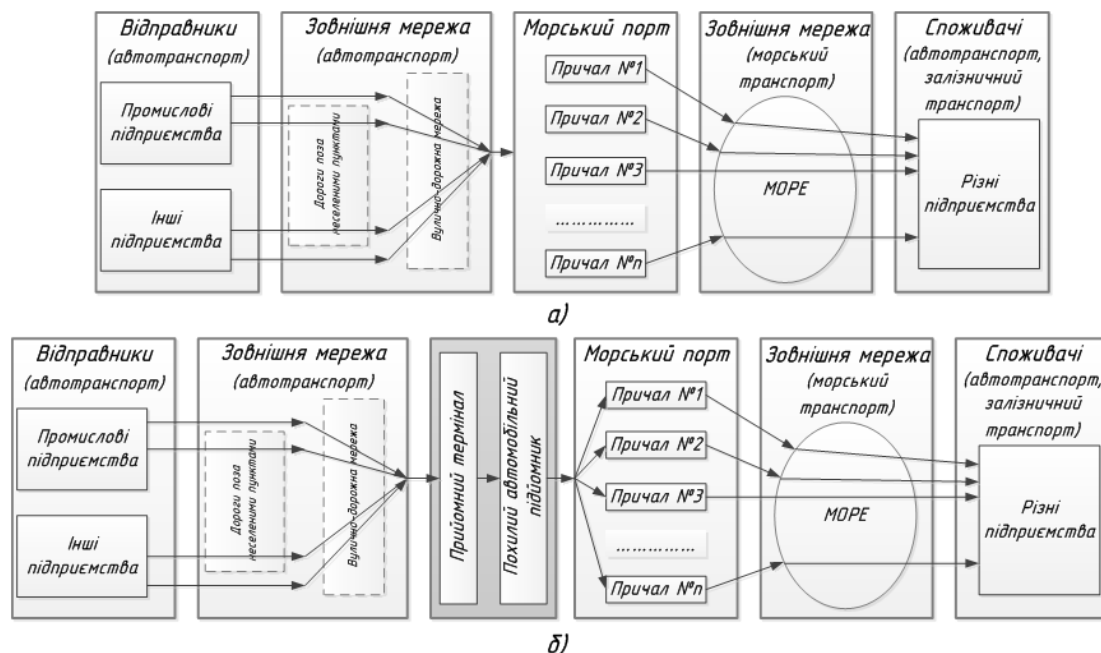


Рисунок 2 – Системи мультимодальних та інтермодальних перевезення вантажів з використанням різних видів транспорту:

а – існуюча система; б – запропонована система

Застосування подібного підйомника дозволить практично повністю уникнути руху великовантажного автотранспорту на автомобільному під'їзді до порту. Це багатократно

збільшить пропускну спроможність автомобільних доріг міста, буде сприяти їх збереженню та збереженню загальної міської інфраструктури, поліпшить екологічну обстановку, а також безпеку руху.

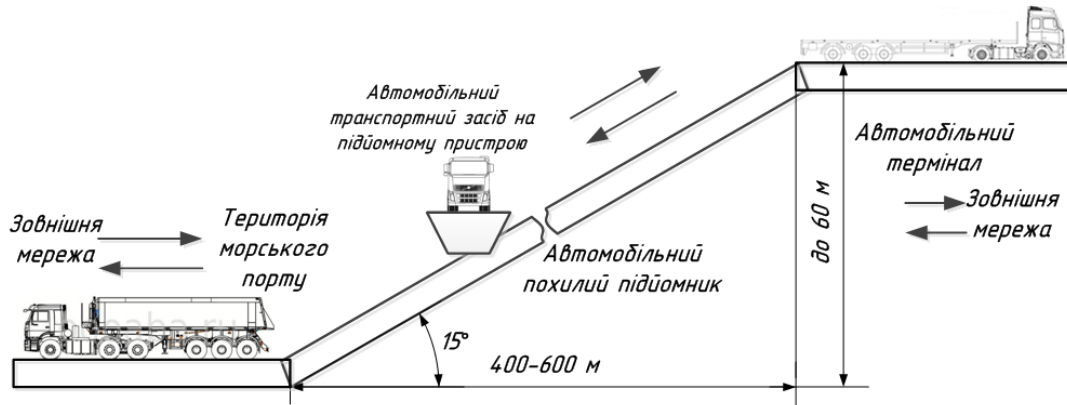


Рисунок 3 – Принципова схема автомобільного похилого підйомника

Похилий автомобільний підйомник складається з трьох основних елементів: траса, підйомна машина (пристрій) і силова привідна установка. Автотранспортний засіб повністю заїжджає на майданчик підйомної машини і транспортується догори (на автомобільний термінал) або вниз (до прохідних порту).

Наступний етап дослідження - техніко-економічне обґрунтування (ТЕО) проектування і будівництва запропонованого похилого автомобільного підйомника. ТЕО виконується розрахунковим шляхом з метою порівняльного аналізу економічних витрат, збитків і втрат. Дані економічні показники розраховуються для двох варіантів (рис. 2) з урахуванням вартості будівництва підйомника. Удосконалена методика розрахунків для виконання ТЕО наведена нижче.

Економічні витрати, втрати та збитки за існуючим варіантом можна оцінити за виразом:

$$C_{вит}^{заг} = C_{вит}^{дор} + C_{вит}^{PC} + C_{вит}^{ДПП} + C_{вит}^{ек}, \quad (1)$$

де $C_{вит}^{заг}$ - загальні річні втрати при існуючій системі перевезень, тис. т;

$C_{вит}^{дор}$ - річні економічні витрати на ремонт, реконструкцію та експлуатацію автодоріг, споруд та засобів регулювання, тис. грн.;

$C_{вит}^{PC}$ - річні економічні втрати від простоїв рухомого складу в ремонтах через незадовільний стан доріг, тис. грн.;

$C_{вит}^{ДПП}$ - річні економічні втрати від аварійності, тис. грн.;

$C_{вит}^{ек}$ - річні екологічні втрати, тис. грн.

Загальні витрати на проектування та будівництво похилого автомобільного підйомника визначаються за формулою:

$$K_0 = K_{пр} + K_{зр} + K_m + K_{\sigma}, \quad (2)$$

де K_{np} - витрати на проектування, тис. грн.;

$K_{зр}$ - витрати на проведення земляних робіт, тис. грн.;

K_m - вартість матеріалів і приладів для будівництва, тис. грн.;

$K_б$ - витрати на будівництво, тис. грн.

Строк окупності:

$$T_o = K_0 / C_{вит}^{заг}, \quad (3)$$

Річний економічний ефект

$$E = C_{вит}^{заг} - 0,16K_0, \quad (4)$$

Попередні розрахунки показали, що річний економічний ефект склав більш 180 млн. грн., при цьому строк окупності будівництва дорівнює приблизно 2,2 роки. Наведені результати отримані з урахуванням загальної величини автомобільного вантажопотоку в обсязі 3,0 млн. на рік.

ВИСНОВКИ

1. Вантажопотоки автотранспорту, які надходять до морського порту (вхідні), а також вихідні характеризуються значними обсягами. Їх загальна річна величина досягає 2,5-3,0 млн. т.

2. Запропоновано новий спосіб доставки і нова транспортна технологія перевезень вантажів автомобільним транспортом у морський порт з використанням автомобільного похилого підйомника. Це дозволить значно зменшити збитки, зберегти міську інфраструктуру, поліпшити екологічну ситуацію, підвищити безпеку руху.

3. Для виконання техніко-економічного обґрунтування запропоновано удосконалену методику розрахунків збитків, витрат і втрат. Приблизні розрахунки показали, що річний економічний ефект склав приблизно більш 180 млн. грн., а строк окупності будівництва – 2,2 роки.

Список використаних джерел

1. Васильєв, М. В. Транспорт глубоких карьеров / М. В. Васильев. – М.: Недра, 1983. – 296 с.
2. Жуков, Л. И. Карьерные наклонные скиповые подъемники с выпуклым профилем пути / Л. И. Жуков // Материалы II Всесоюз. науч.-техн. конф. по карьерному транспорту. – Свердловск, 1966. – С. 144–145.
3. Носырев, Б. А. Основные технологические параметры карьерных наклонных скиповых установок / Б. А. Носырев // Материалы II Всесоюз. науч.-техн. конф. по карьерному транспорту. – Свердловск, 1966. – С. 145–149.
4. Кулешов А. А. Автомобильный карьерный подъемник с автономным приводом / А. А. Кулешов, Ю. Д. Тарасов // Изв. вузов. Горный журнал. – 2001. – № 1.
5. Жилинков А. А. Оценка грузонапряженности улично-дорожной сети г. Мариуполя / А. А. Жилинков, О. Г. Золотницкая // Наука та виробництво: зб. наук. праць / ДВНЗ «ПДТУ». – Маріуполь, 2018. – Вип. 18. – С. 24–31.

Транспортні технології

6. Жилинков, А. А. Метод расчета суммарного экономического ущерба городской инфраструктуре от воздействия грузового автотранспорта / А. А. Жилинков // Актуальні задачі сучасних технологій : зб. тез доповідей VI Міжнар. науково-техн. конф. молодих учених та студентів (Тернопіль, 16–17 листоп. 2017 р.). – Тернопіль, 2017. – Т. 3. – С. 31–32.

Жилинков А. А., Золотницькая О. Г.

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМЫ АВТОМОБИЛЬНЫХ ПЕРЕВОЗОК ГРУЗОВ В МОРСКОЙ ПОРТ

В статье рассмотрены актуальные вопросы повышения эффективности автомобильных перевозок в морской порт. Приведены результаты исследований грузопотоков автотранспорта, которые проходят через морской порт. Проведены исследования условий перевозок и предложен новый способ транспортирования по новой транспортной технологии. В качестве дополнительного элемента новой транспортной технологии предложен наклонный подъемник для транспортировки грузовых автотранспортных средств между двумя высотными отметками. Выполнен расчет технико-экономических показателей.

Ключевые слова: автотранспорт, автотранспортные средства, автомобильные перевозки, система доставки грузов, наклонный автомобильный подъемник, морской порт, подъемная машина, экономические потери, технико-экономические показатели

Zhylinkov O. O., Zolotnitska O. G.

IMPROVING THE SYSTEM OF ROAD TRANSPORTATION OF CARGOES INTO SEA PORT

The article deals with topical issues of improving the efficiency of road transport in the transport service of the seaport on the territory of a large industrial hub. The results of studies of road freight traffic that passes through the seaport and are processed in it are given. The calculations of the value of car flows. A classification has been developed for the main freight traffic and automobile traffic. The study of traffic conditions and geodetic surveys under the existing system of freight road transport. As a result, a new method of transportation under the new transport technology was proposed. As an additional element of the new transport technology, an inclined lift is proposed for transporting cargo vehicles between two elevations. To perform the feasibility study proposed an improved method for calculating the economic losses, costs and losses. The calculation of the main technical and economic indicators. Conducted a feasibility study of two options for schemes (methods) of transportation. A significant economic effect and a short-term payback period for the cost of the new option have been obtained. Significantly reduced losses, preserved urban infrastructure and the road network, improved environmental conditions, improved road safety

Keywords: freight transport, road transport, vehicles, car train, truck, freight transport, road transport, freight traffic, car flow, cargo delivery system, transportation route, street-road network, urban highways, delivery method, new transport technology, inclined car lift, sea port, lifting machine, economic losses, economic costs, economic losses, technical and economic indicators, technical and economic study, the payback period, the preservation of the urban infrastructure, urban environmental problems, traffic safety

Рецензент: канд. техн. наук, доц. Маслак Г. В.

Стаття надійшла 31.10.2018.

УДК 656:669.162

Жилинков А. А., Маслак А. В.

АНАЛИЗ ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ЦИКЛА ДОСТАВКИ ЖИДКОГО ЧУГУНА В КИСЛОРОДНО-КОНВЕРТЕРНОЕ ПРОИЗВОДСТВО

В связи с развитием современных высокопроизводительных технологий в металлургии и необходимостью учета новых требований, выполнен анализ транспортно-технологического цикла доставки жидкого чугуна в кислородно-конвертерное производство. Определены фактические величины показателей основных технологических операций и сопоставлены с нормативными значениями. Выявлены недостатки в транспортном обслуживании доменного производства.

Ключевые слова: доменное производство, жидкий чугун, промышленный железнодорожный транспорт, транспортное обслуживание, транспортно-технологический цикл доставки, продолжительность технологических операций

Постановка проблемы. Доменное производство совместно с агломерационным является первым переделом в черной металлургии. Доменное производство включает три этапа - подготовка и подача шихтовых материалов; выплавка чугуна в доменных печах и уборка продуктов плавки.

Одним из наиболее важных и ответственных процессов металлургических предприятий является перевозка жидкого чугуна. В мировой практике известны 2 способа транспортировки и хранения жидкого (расплавленного) чугуна:

- использование железнодорожных чугуновозов открытого типа (63-160 т) для внутризаводских перевозок чугуна и мощных стационарных миксеров (2500-3000 т) для хранения и усреднения чугуна (доменные печи емкостью 860-4000 м³);

- использование вагонов-миксеров (100-600 т) на внутризаводских перевозках и на дальние расстояния до 300 км и более по магистральным железным дорогам (доменные печи емкостью 5000-5500 м³ и более).

На отдельных зарубежных заводах поздней постройки внедрена система «прямой» внутризаводской доставки чугуна в кислородно-конвертерные цехи без использования чугуновозов и стационарных миксеров. Такая система обладает рядом достоинств (снижение транспортных расходов, потерь чугуна, расход огнеупоров, автоматизация процесса производства), но ее внедрение требует значительного совершенствования транспортно-технологического оборудования, глубокой реконструкции производства с изменением схемы планировочного решения и технологических параметров.

Характерной особенностью материального потока жидкого чугуна, при использовании традиционных схем доставки, является отсутствие фазы промежуточного складирования на стадии его зарождения (непосредственный слив чугуна из доменной печи в чугуновоз), а также весьма ограниченные возможности «складирования» на стадии его погашения (миксер кислородно-конвертерного цеха).

Отсутствие промежуточного складирования жидкого чугуна требует повышенной надежности транспортного обслуживания. С этой целью для бесперебойной работы доменного производства и производственно-транспортной системы предприятия в целом, задействованы резервные ресурсы транспорта, представляющие собой дополнительный вагонный и локомотивный парки, комплекс транспортных коммуникаций и устройств.

Кроме того, на участке производственно-транспортного комплекса (доменный цех – кислородно-конвертерный цех) резервное количество локомотивов и чугуновозов не всегда

обеспечивают нормальный ритм основного производства. Наиболее явно это отражается на работе доменного цеха, в котором имеются случаи снижения производительности доменных печей из-за задержек выпусков чугуна, по причине несвоевременной подачи чугуновозов. Количество таких задержек продолжительностью 20 минут и более составляет около 15 % от общего количества выпусков, что приводит к значительным производственным потерям.

Наличие резервных ресурсов транспортной составляющей, снижение производительности агрегатов, аварийность по причинам сбоев в работе транспорта обуславливают значительные транспортные издержки при обслуживании доменных цехов и увеличивают общую себестоимость производства чугуна.

Объем транспортной работы на этом участке зависит от множества факторов: объема, производительности и регламента работы доменных печей, технологии доменного производства, назначения грузопотока, технологии обработки чугуна, планировочного решения доменного цеха, его путевого развития и др. Особенностью транспортного обслуживания доменного производства является то, что размеры грузопотоков непропорциональны размерам вагоно- и поездопотоков. То есть, на перевозках жидкого чугуна и шлака в качестве резерва всегда требуется дополнительное количество вагонов (чаш), локомотивов и других ресурсов транспорта. При этом, количество резервных транспортных единиц существенно больше, чем на других перевозках.

Для совершенствования процесса грузопереработки жидкого чугуна нужно системно проанализировать процесс транспортного обслуживания доменного производства и количественно оценить затраты производства и транспорта. Это является весьма сложной задачей и ее нужно решать в несколько этапов – анализ затрат времени на транспортно-технологические операции, определение показателей транспортной работы, анализ экономических затрат транспорта и производства.

На начальном этапе исследования необходимо определить продолжительность технологических операций и произвести анализ транспортно-технологического цикла перевозки чугуна.

Анализ последних исследований и публикаций. В настоящее время накоплен значительный материал по вопросам повышения эффективности транспортного обслуживания металлургических предприятий и работы промышленного транспорта. В области перевозок жидкого (расплавленного) чугуна разработаны теоретические основы и методы оптимизации взаимодействия промышленного транспорта с производственными подразделениями [1, 2], рассмотрены вопросы совершенствования технологии внутриузловых перевозок жидкого чугуна в вагонах-миксерах [3], вопросы мониторинга внутризаводской транспортировки жидкого чугуна [4, 5, 6]. Вопросы анализа процесса перевозки жидкого чугуна, как единого транспортно-технологического цикла в условиях динамики производственно-транспортного процесса, в рассмотренных источниках лишь обозначены и должного развития не получили.

В то же время, в современных условиях все настоятельнее требуется разработка методов и аналитических моделей, которые позволили выполнить конкретные многовариантные расчеты, связанные с анализом, синтезом и оптимизацией систем управления процессом материалодвижения предприятий. При этом, в первую очередь необходимы методы и модели, объединяющие несколько функций и позволяющие оптимизировать издержки в цепи материалодвижения при фазовой трансформации в пунктах переработки грузов.

Цель работы. Целью настоящей работы является анализ транспортно-технологического цикла доставки жидкого чугуна в кислородно-конвертерное производство. Для этого необходимо сопоставить существующие и действительные графики выпуска

чугуна и провести оценку технологических графиков оборота чугуновозных ковшей, а также выявить виды и продолжительность внеплановых простоев подвижного состава.

Изложение основного материала. Производство чугуна является сложным и непрерывным процессом, который охватывает многочисленные технологические и транспортные операции, что требует надежной работы транспорта по уборке продуктов плавки, в частности чугуна. Перевозка чугуна характеризуется высокой температурой (свыше 1000 °С), большой грузоподъемностью подвижного состава (140 т, 220 т и более), сложностью организации транспортного процесса.

Транспортно-технологический цикл доставки жидкого чугуна представляет собой комплекс законченных технологических и транспортных операций, имеющих определенную последовательность и продолжительность выполнения, а также обеспечивающих производственный процесс доменных печей в заданных регламенте и ритме их работы. Основными операциями являются ожидание налива в доменном цехе (ДЦ), налив и слив чугуна в ДЦ, обработка в отделении десульфурации чугуна (ОДЧ), закрепление чугуновозов за тепловозом, заявка и уборка ковшей, транспортировка на отделение десульфурации, обработка ковшей, транспортировка на весы и взвешивание, транспортировка с весов на миксер кислородно-конвертерного цеха (ККЦ), уборка и слив ковшей, транспортировка порожних ковшей на весы и в депо обработки. Транспортно-технологическая схема доменного производства приведена на рис. 1, а нормативы времени на оборот чугуновозного состава – на рис. 2.

Данные по временным интервалам и продолжительности технологических операций получены путем хронометрических и натурных исследований, а также использовались отчетные данные одного из металлургических комбинатов.

Анализ полученных результатов показал, что фактическая продолжительность (время) оборота чугуновозных ковшей (T_o^ϕ) складывается из нормативной продолжительности выполнения технологических операций (t_o^H) и ненормативных простоев (t_{nn}).

$$T_o^\phi = t_o^H + t_{nn} . \quad (1)$$

Нормативная продолжительность выполнения технологических операций (норматив времени на оборот чугуновозного состава) определяется по графикам, приведенным на рис. 2.

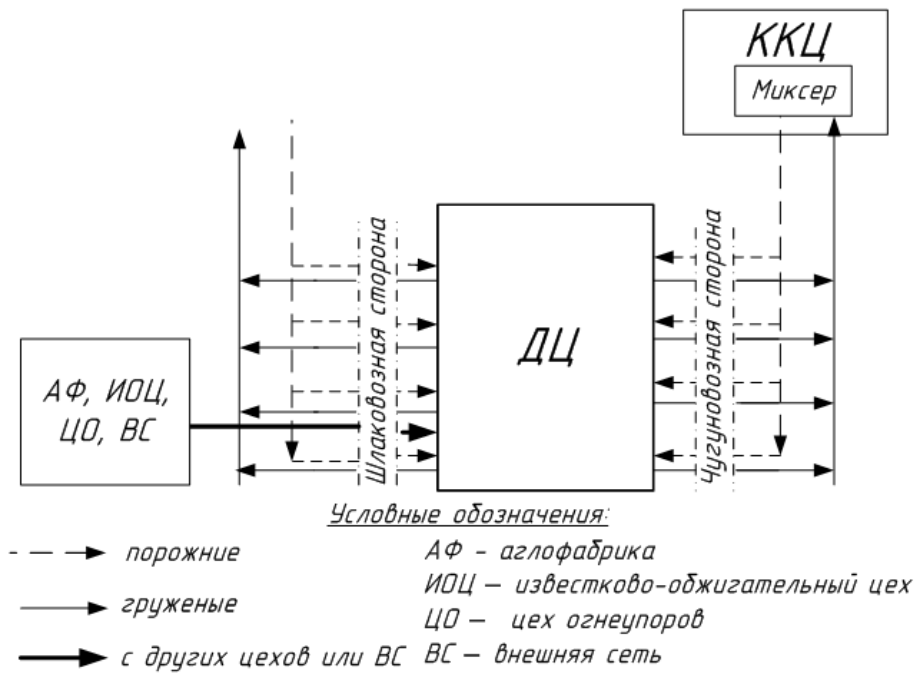


Рисунок 1 – Транспортно-технологическая схема доменного производства

Для составов, которые не проходят ОДЧ:

$$t_o^H = \sum_1^{14} t_i, \quad (2)$$

Для составов, которые проходят ОДЧ:

$$t_{o(ОДЧ)}^H = \sum_1^{17} t_j, \quad (3)$$

где t_i - продолжительность операции i -го вида, мин.; определяется по графику на рис. 2, а;

$t_j - t_i$ - продолжительность операции j -го вида, мин.; определяется по графику на рис. 2, б.

Транспортні технології

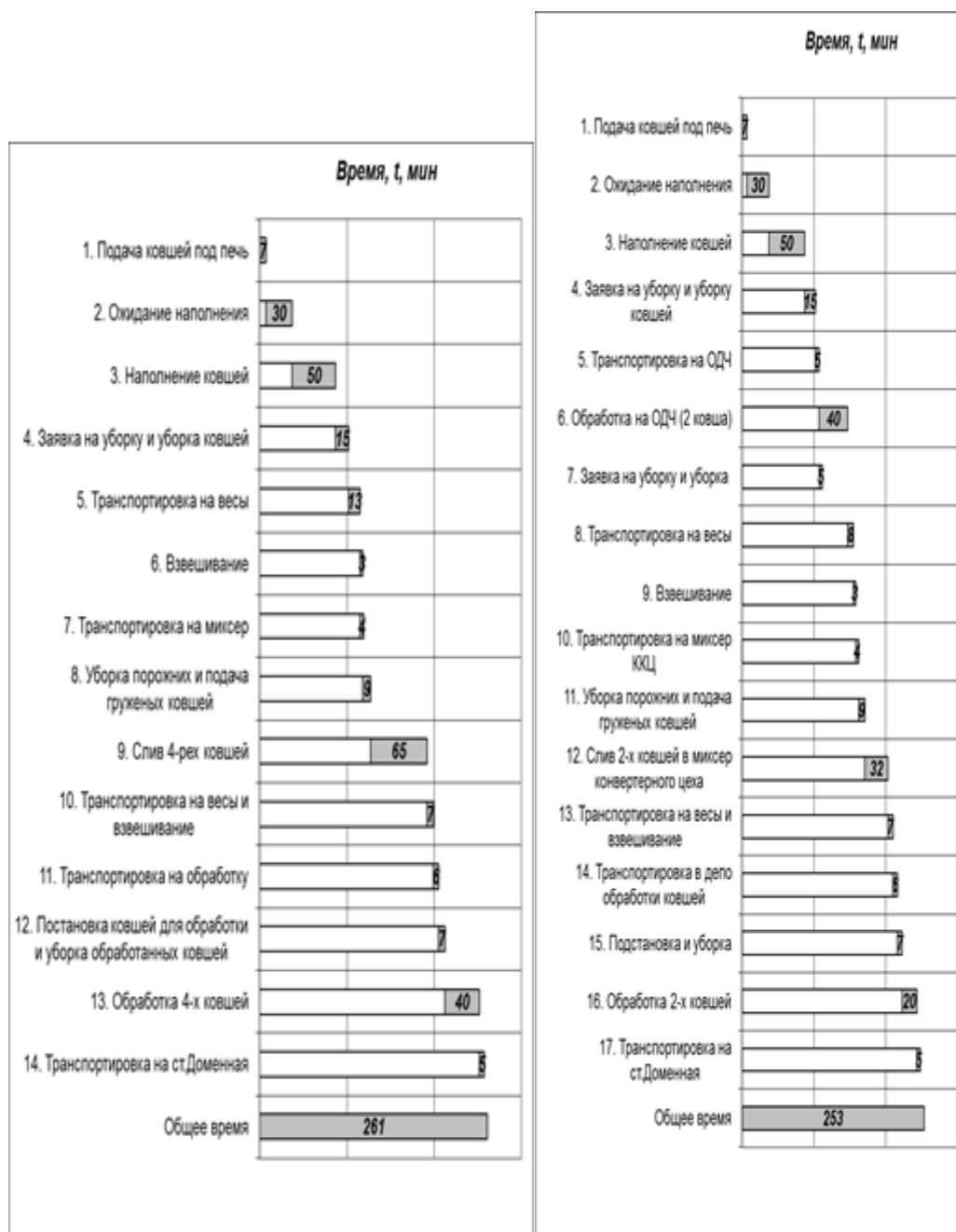


Рисунок 2 – Нормативы времени на оборот чугуновозных ковшей:

a – «ДЦ – миксер ККЦ – ДЦ»; *б* – «ДЦ – миксер ККЦ – ДЦ» с прохождением ОДЧ

На рис. 3 приведена схема транспортно-технологического цикла доставки жидкого чугуна в ККЦ. Серым цветом выделены наиболее распространенные простои чугуновозов (чугуновозных составов).

Из рис. 3 видно, что ненормативные простои (t_{nn}) возникают между соответствующими технологическими операциями. По сути это увеличенная продолжительность операции «ожидание уборки» либо непроизводительные простои. Их общая величина определяется по формуле:

Транспортні технології

$$t_{nn} = t'_1 + t'_2 + t'_3 + t'_4 + t'_5, \quad (4)$$

где $t'_1, t'_2, t'_3, t'_4, t'_5$ - ненормативные межоперационные простои, мин. (рис. 3).

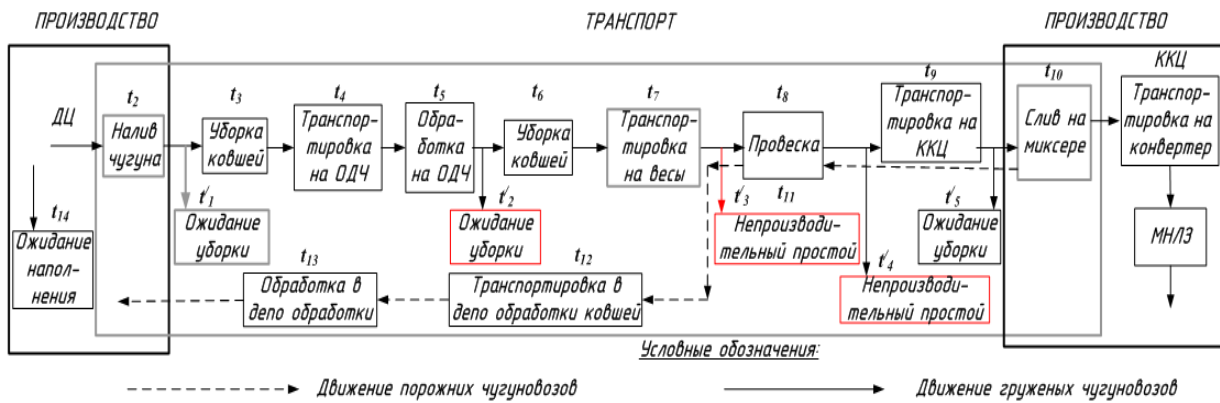


Рисунок 3 – Транспортно-технологический цикл доставки жидкого чугуна в ККЦ

Результаты исследований по определению продолжительности непроизводительных и ненормативных простоев представлены в табл. 1.

Таблица 1 - Значения продолжительности непроизводительных и ненормативных простоев в обороте чугуновозных составов для разных агрегатов доменного цеха

Вид простоя	Значение	Доменные печи			
		ДП-2	ДП-3	ДП-4	ДП-5
t'_1	min	1	5	5	5
	max	14	72	70	75
	среднее	12,5	17,61	17,45	24,81
t'_2	min	15	12	16	15
	max	25	26	24	27
	среднее	20	19	20	21
t'_3	min	3	2	4	5
	max	12	13	15	16
	среднее	7,5	7,5	9,5	10,5
t'_4	min	3	3	4	5
	max	15	14	14	15
	среднее	9	8,5	9	10
t'_5	min	2	2	3	4
	max	14	15	15	15
	среднее	8	8,5	9	9,5
Итого: t_{nn}	min	24	24	32	29
	max	80	140	138	73
	среднее	57	61,11	64,95	75,81

Транспортні технології

Из табл. 1 видно, что ненормативные межоперационные простои увеличивают оборот чугуновозных составов только при обслуживании доменных печей ДП-2, ДП-3, ДП-4, ДП-5 в среднем на 29, 23, 24 и 34 % соответственно.

Следует отметить, что дополнительные простои t'_1 и t'_5 непосредственно зависят от работы производственных агрегатов и возникают в 86 % случаях, тем самым влияют на ритм работы транспортно-технологического цикла. Это приводит к скоплению подвижного состава в местах слива и нехватке его возле доменных печей при наливке, что требует постоянного оперативного воздействия в процесс транспортного обслуживания.

Кроме того, дополнительные простои t'_2 , t'_3 и t'_4 могут возникать под действием как транспортных, так и производственных факторов. Производственные связаны с нарушением технологии десульфурации или провески груза, а транспортные – с нарушением организации транспортного обслуживания.

Такое положение дел приводит к тому, что организация взаимодействия доменного цеха и железнодорожного транспорта по жесткому нормативному графику, в настоящее время, является не эффективным.

Для совершенствования транспортно-технологического цикла доставки чугуна необходимы новые подходы в управлении и формы организации взаимодействия, позволяющие обеспечивать минимальные затраты транспорта.

ВЫВОДЫ

1. Разработан транспортно-технологический цикл доставки жидкого чугуна в кислородно-конвертерное производство. Установлено, что фактическая продолжительность (время) оборота чугуновозных ковшей (составов) складывается из нормативной продолжительности выполнения технологических операций и ненормативных межоперационных простоев.

2. Проанализированы значения непроизводительных и ненормативных простоев в обороте чугуновозных составов. Установлена доля данных простоев в общем времени оборота.

3. Отклонения значений фактических показателей от нормативных, приводят к усложнению процесса транспортного обслуживания и увеличению ресурсов транспорта (вагонного и локомотивного парка, путевого развития, численности работников и др.).

4. Проведен первый этап системного анализа процесса транспортного обслуживания доменного производства. Созданы предпосылки для выполнения дальнейших исследований по вопросам повышения эффективности взаимодействия доменного производства и транспорта.

Список использованных источников:

1. Лукьянов, В. А. Методика оптимизации взаимодействия промышленного транспорта и основных производств предприятий черной металлургии : дис. ... канд. техн. наук : 05.22.01 / Лукьянов Вадим Александрович. – СПб., 2003. – 155 с.
2. Попов, А. Т. Оптимизация взаимодействия технологического железнодорожного транспорта и производства : (на примере металлургического комбината : дис. ... канд. техн. наук : 05.22.12 / Попов Алексей Тимофеевич. – М., 1984. – 235 с.
3. Коробкин, А. В. Совершенствование технологии внутриузловых перевозок жидкого чугуна в вагонах-миксерах: дис. ... канд. техн. наук : 05.22.12 / Коробкин А. В. –

Транспортні технології

Новосибирск, 1984. – 259 с.

4. Ошурков, В. А. Концепция автоматизированной системы мониторинга транспортировки жидкого чугуна на металлургических предприятиях / В. А. Ошурков, Л. С. Цуприк, К. В. Бурмистров, И. С. Бурмистрова // Современные проблемы транспортного комплекса России. – 2015. – № 1 (6). – С. 7–11.

5. Емельянова, Н. Ю. Информационная модель системы мониторинга процесса транспортировки жидкого чугуна / Н. Ю. Емельянова, В. А. Емельянов // Системи обробки інформації : зб. наук. праць. – Харків, 2012. – Вип. 2 (100). – С. 37–41.

6. Емельянова, Н. Ю. Информационная технология процесса перевозки жидкого чугуна / Н. Ю. Емельянова, В. А. Емельянов // Системи обробки інформації : зб. наук. праць. – Харків, 2010. – Вип. 9 (90). – С. 32–36.

Жилінков О. О., Маслак Г. В.

АНАЛІЗ ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГІЧНОГО ЦИКЛУ ДОСТАВКИ РІДКОГО ЧАВУНУ В КИСНЕВО-КОНВЕРТЕРНЕ ВИРОБНИЦТВО

У зв'язку з розвитком сучасних високопродуктивних технологій в металургійній промисловості та необхідністю врахування нових вимог, розроблено транспортно-технологічний цикл доставки рідкого чавуну в киснево-конвертерне виробництво і виконано аналіз загального часу обороту чавуновозних составів. Визначено фактичні величини показників основних технологічних операцій, які зіставлені з нормативними значеннями. Виявлено недоліки в транспортному обслуговуванні доменного виробництва. Аналізом встановлено, що фактична тривалість (час) обороту чавуновозних ковшів (составів) складається з нормативної тривалості виконання технологічних операцій і ненормативних міжопераційних простоїв.

Також проаналізовано значення величин непродуктивних і ненормативних простоїв в обороті чавуновозних составів. Встановлено процентне співвідношення тривалостей нормативних і ненормативних простоїв в загальному часу обороту. Відхилення значень фактичних показників від нормативних призводять до ускладнення процесу транспортного обслуговування і збільшення ресурсів транспорту (вагонного та локомотивного парку, колійного розвитку, чисельності працівників та ін.).

Дана робота є першим етапом системного аналізу процесу транспортного обслуговування доменного виробництва. Створено передумови для виконання подальших досліджень з питань підвищення ефективності взаємодії доменного виробництва і транспорту, зниження транспортних витрат і собівартості виробництва

Ключові слова: *доменне виробництво, доменна піч, транспортно-технологічна схема, рідкий чавун, промисловий залізничний транспорт, чавуновоз, норматив часу, оборот рухомого складу, тривалість технологічних операцій, транспортне обслуговування, транспортно-технологічний цикл доставки, ненормативні простої, непродуктивні простої*

Zhilinkov A. A., Maslak A. V.

ANALYSIS OF THE TRANSPORT-TECHNOLOGICAL CYCLE OF DELIVERY OF LIQUID IRON INTO OXYGEN-CONVERTER PRODUCTION

In connection with the development of modern high-performance technologies in the metallurgical industry and the need to take into account new requirements, the transport and technological cycle of delivery of liquid pig iron to the oxygen-converter production has been

Транспортні технології

developed and an analysis of the total time of the turnover of cast-iron compositions has been made. The actual values of the indicators of the main technological operations, which are compared with the normative values, are determined. The defects in the transport service of the blast furnace industry are revealed. The analysis revealed that the actual duration (time) of the turnover of cast-iron buckets (compositions) consists of the normative duration of the execution of technological operations and abnormal inter-operative downtime.

The values of non-productive and non-normative downtime values in the turnover of cast iron compositions are also analyzed. The percentage of duration of normative and non-normative downtime in the general turnaround time is established. Deviations of the values of the actual indicators from the normative, lead to the complexity of the transport service process and increase transport resources (car and locomotive fleet, travel development, number of employees, etc.).

This work is the first stage of system analysis of the process of transport service of the blast-furnace production. Preconditions have been created for carrying out further research on the issues of increasing the efficiency of interaction between blast-furnace production and transport, reducing transport costs and cost of production.

Keywords: *blast-furnace production, blast furnace, transport and technological scheme, liquid iron, industrial railway transport, hot-metal transfercar, time standard, rolling stock turnover, duration of technological operations, transport service, transport and technological delivery cycle, non-normative downtime, non-productive idle time*

Рецензент: канд. техн. наук, доц. Лямзин А. А.

Статья поступила 31.10.2018.

УДК 656.025

Бурлакова Г. Ю.

ДОСЛІДЖЕННЯ МОНІТОРИНГОВИХ ПРОЦЕСІВ УДОСКОНАЛЕННЯ РІВНЯ ЗАДОВОЛЕНOSTІ ПОСЛУГАМИ ПАСАЖИРСЬКОГО ТРАНСПОРТУ М. МАРІУПОЛЯ

У статті проводяться дослідження існуючих оціночних критеріїв якості пасажирських автомобільних перевезень. Виявлені проблеми, рішення яких полягає в удосконаленні способів моніторингу якості пасажирських перевезень шляхом покращення системи та критеріїв оцінювання послуг, які надаються пасажирським транспортом. Розроблено рекомендації щодо удосконалення моніторингових процесів рівня задоволеності послугами пасажирського транспорту м. Маріуполя.

Ключові слова: *оцінка якості пасажирських перевезень, багатокритеріальність оцінки, клієнтоорієнтований підхід, нормативи показників якості, рівень задоволеності перевезеннями, моніторингові процеси*

Постановка проблеми. Міський пасажирський транспорт відіграє важливу роль у забезпеченні якісного життя міського населення. Зростання ефективності та якості роботи міського пасажирського транспорту (МПТ) дозволяє підвищити рівень задоволеності пасажирів під час їх транспортного переміщення, покращити екологічну ситуацію, зменшити аварійність та кількість ДТП на дорогах, зменшити транспортне навантаження на міських магістралях, забезпечити ефективну роботу автотранспортних підприємств.

На основі існуючих систем моніторингу якості пасажирських перевезень у роботі розглянута проблема управління послугами пасажирського транспорту, яка включає в себе: низький рівень задоволеності послугами, недостатній привабливість транспорту загального користування, у зв'язку з чим суттєва частка населення використовує для поїздок власний автотранспорт, значні інтервали руху і низька середня швидкість транспортних засобів (ТЗ)

на регулярних маршрутах, наднормативна фізична зношеність рухомого складу, що не відповідає вимогам до комфорту та усіх видів безпеки (безпеки руху, екологічної безпеки і т.д.), недостатній розвиток міської дорожньо-транспортної мережі, недостатня тарифна політика, відсутність ефективних систем диспетчерського управління процесами перевезень пасажирів та керування дорожнім рухом, недостатній моніторинг перевезень пасажирів і т.д.

Надання якісних транспортних послуг повинно відповідати вимогам до якості та її критеріям, встановленим для безпечного перевезення пасажирів, й перебувати під постійним моніторингом та управлінням збоку Маріупольського Департаменту транспорту та зв'язку. Проте якість перевезення пасажирів на міських маршрутах перебуває на неналежному рівні через неможливість здійснення ефективного контролю якості. Моніторинг якості перевезення пасажирів - це трудомісткий та затратний процес, тому що нормативні акти і методичні матеріали, якими користуються на практиці автотранспортні підприємства (АТП) та органи управління для оцінки організації роботи пасажирського автотранспорту, є недосконалими. Окрім того, відсутній перелік нормативних значень показників якості обслуговування при пасажирських перевезеннях з їх граничними (бальними) значеннями, закріпленими на рівні стандарту України, відсутня узагальнена методика практичного оцінювання якості перевезень, якою би могли користуватися конкретні АТП, що здійснюють пасажирські перевезення.

Більшість показників якості надання транспортних послуг та її кількісні критерії не знайшли свого конкретного визначення у діючих законодавчих документах, що обслуговують діяльність міського пасажирського транспорту. Більше того, органи місцевих рад самі визначають і затверджують нормативи якості перевезень і оцінювальні критерії, що діють у певних територіальних межах. Тому потрібні нові наукові підходи, які б давали можливість утворити систему узагальнених показників якості і їх кількісні критерії, що вживатимуться по всій автотранспортній мережі країни і будуть закладені в плани організації роботи автотранспортних підприємств, які надають послуги з перевезення пасажирів.

На основі виконаних досліджень виявлені проблеми, рішення яких полягає в удосконаленні моніторингу якості пасажирських перевезень шляхом покращення системи та критеріїв оцінювання послуг, які надаються пасажирським транспортом.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Грунтовний аналіз робіт вітчизняних та зарубіжних вчених, присвячених оцінці та забезпеченню якості роботи маршрутного пасажирського транспорту в містах, розглянуто в роботах П. Ф. Горбачова та інших дослідників. Нещодавно опубліковано результати низки досліджень в області теорії і практики з оцінки якості пасажирських перевезень, серед яких слід виділити праці А. В. Базилюк, В. Г. Шинкаренка, і т.д., де автори простежили «взаємозалежність між рівнем якості та ефективністю виробництва й довели важливість оцінки якості з позиції споживача» [3].

Мета дослідження. Метою дослідження є моніторинг процесів удосконалення системи оцінки якості роботи АТП при організації перевезень пасажирів міським громадським транспортом за показниками якості надання транспортних послуг. Об'єктом дослідження є процес перевезень на міському пасажирському транспорті. Предметом дослідження є організація перевезень міським пасажирським транспортом за показниками якості та її критеріями. Відповідно до мети визначено наступні завдання:

- провести аналіз системи існуючих критеріїв якості при перевезенні пасажирів МПТ;
- розробити алгоритм проведення моніторингу системи основних критеріїв якості обслуговування при організації перевезень пасажирів МПТ та удосконалення цієї системи.

Основний матеріал дослідження. У зв'язку зі стрімким зростанням рівня урбанізації в Україні більшість пасажирських перевезень приходить на міські перевезення, тому

завдання підвищення рівня управління міськими пасажирськими перевезеннями, покращення якості транспортних послуг буде постійно актуальним.

У законодавчих актах України наявні накази щодо безпеки перевезень, але відсутні щодо якості перевезень, наприклад, є наказ Державного комітету України з питань регуляторної політики та підприємництва і Міністерства транспорту України від 18.12.2003 р. № 136/985, який регулює безпеку перевезень пасажирів. Тому немає підстав для проведення моніторингу якості перевезень, тим більше, для її оцінювання. Відповідно відсутній моніторинг якості роботи перевізника при наданні транспортних послуг і зворотний зв'язок для наступних конкурсів перевізників за маршрути.

«Укладання угод між замовником на пасажирські перевезення і перевізником не передбачає наявності в угодах конкретних параметрів якості транспортного обслуговування, умов контролю якості, а тому практично не контролюється виконання перевізниками навіть вказаних у ліцензії умов щодо забезпечення якості перевезень пасажирів» [3], починаючи з виконання графіків руху на маршрутах і закінчуючи наповненням пасажирських ТЗ, виконанням тарифних умов, комфортності тощо.

На жаль, за винятком окремих спеціалізованих і першокласних послуг, пасажири, як правило, не мають можливість купити додатковий елемент якості. Існує певний класифікатор соціальних нормативів, які перевізник повинен виконувати. До числа таких нормативів належать: комфортність поїздки, частота руху ТЗ, число пасажирів, що стоять у ТЗ, на 1м² площі автобуса, час їздки, безпека руху, вартість послуг, час очікування транспорту, інформаційна складова транспортного процесу, в тому числі, наявність доступної інформації для пасажирів на зупинках щодо виконання графіку руху ТЗ тощо.

Є багато визначень терміну якість. У Міжнародному стандарті ISO 9000:2000 «якість обслуговування - це сукупність характеристик процесу й умов обслуговування, які забезпечують задоволення встановлених чи передбачуваних потреб споживача» [10]. «Якість транспортного обслуговування пасажирів - це сукупність властивостей транспортного процесу, що обумовлюють задоволеність потреб пасажирів у поїздках відповідно до встановлених нормативних вимог» [10]. Згідно зазначеного стандарту в таблиці 1 виділено показники якості обслуговування пасажирів.

Таблиця 1 – Групи показників якості роботи автобусів згідно ДСТУ Р 51004– 96 та Європейського стандарту оцінки якості у сфері транспорту DINEN 13816:2002 [3]

Групи показників якості	Показники
Показники інформаційного обслуговування	Коефіцієнт інформаційного обслуговування пасажирів автобусами на маршруті
	Коефіцієнт інформаційного обслуговування пасажирів на зупинках
Показники комфортності	Площа приміщення автобуса, що припадає на одного пасажирів
	Допустимі санітарно-гігієнічні норми
	Допустиме наповнення салону автобуса пасажирами (статичний коефіцієнт використання місткості автобуса)
Показники швидкості	Тривалість перевезення
	Частота руху автобуса
	Частота зупинок автобуса (кількість перегонів)
	Середня експлуатаційна швидкість руху автобуса

Продовження табл. 1

Показники своєчасності	Частка автобусів, що відправляються за розкладом
	Частка автобусів, що прибувають за розкладом
	Середній інтервал руху автобусів на маршруті
	Максимальний інтервал руху автобусів на маршруті
Показники безпеки	Надійність функціонування автобусів (коефіцієнт технічної готовності автобуса)

Для організації якісної роботи МПТ в Європейських країнах проводиться оцінка якості транспортних послуг за наступними показниками:

- регулярність руху ТЗ;
- швидкість руху, зменшення часу пересування пасажирів, наявність спеціально відведених смуг для пересування на маршруті в години «пік»;
- комфортність поїздки та комфортабельність ТЗ;
- інтенсивність транспортних зв'язків між пунктами прибуття;
- безпека перевезень при наявності на АТП персоналу з високою кваліфікацією;
- провізна спроможність транспортного засобу.

Контроль показників якості обслуговування в м. Маріуполі, згідно звітної документації Департаменту транспорту та зв'язку, переважно, стосується відхилень від запланованої кількості рейсів і, більшою мірою, характеризує роботу АТП.

Основні показники роботи МПТ на маршруті, надані у звітній документації Департаменту транспорту та зв'язку, не відображають у повному обсязі щоденної якості роботи водія на маршруті, а узагальненої системи оцінки якості роботи пасажирського транспорту в нашій країні ще й досі не розроблено. Місцева влада отримує інформацію щодо якості роботи МПТ доступними їй способами: запровадила збір і ретельний аналіз усіх звернень громадян, які надходять до гарячої лінії; використовує технічні засоби (відеоспостереження в салонах ТЗ); залучає до спостережень працівників, які візуально оцінюють наповненість салонів пасажирського транспорту. Постійне відеоспостереження має низку переваг, але потребує значних затрат на підтримку технічно справного стану обладнання, його плану заміну. Наразі у структурі Департаменту транспорту та зв'язку немає окремого відділу, який би відстежував попит на перевезення,

Виходячи з аналізу показників роботи Департаменту транспорту та зв'язку, контроль якості обслуговування маршрутів враховує лише порушення регулярності рейсів та інтервалу руху, відхилення від розкладу руху МПТ, при цьому показник задоволеності пасажирів взагалі не враховується. Не враховується кількість пасажирів що не встигли або не змогли потрапити в салон ТЗ, скільки часу пасажирів простояли на зупинках в очікуванні ТЗ і т.д. Систему таких порушень теж необхідно враховувати як окремий показник при оцінці якості обслуговування пасажирів.

Першочерговим завданням встановлено необхідність так удосконалити систему моніторингу якості перевезень, щоб вона забезпечувала відсутність скарг пасажирів на роботу МПТ й відображали основні потреби пасажирів, а саме: вчасність прибуття ТЗ, комфортні умови проїзду, та ін. за умови контролю цих показників.

Моніторинг методів врахування критеріїв якості при перевезенні пасажирів міським транспортом. Дослідження різних питань міського пасажирського транспорту свідчать, що їх ефективність визначається своєчасним виявленням потреб пасажирів у перевезеннях, впливом новітніх технологій та методів організації перевезень, формуванням маршрутних систем міського пасажирського транспорту, якістю транспортного обслуговування, технологією та організацією перевезень у містах тощо. Чільне місце з-поміж таких заходів приділяється наступним напрямкам:

1) удосконалення маршрутизації, а саме: проектування нових та коригування існуючих мереж, при якому використовується гіпотеза поведінки пасажирів під час вибору шляху переміщення з огляду на витрати часу. Ймовірність вибору пасажирів маршруту залежить від значень необхідних для них параметрів, а саме: комфортність, швидкість переміщення, кількість пересадок та вартість проїзду.

2) необхідність заміни технічно та морально застарілого парку рухомого складу транспорту загального користування на новий, що відповідає вимогам часу.

3) якісний моніторинг пасажиропотоку – це ефективне планування перевезень, підвищення рентабельності маршруту, коригування схеми маршрутної системи, вибір типу рухомого складу та ін.

Останнім часом зроблено велику кількість досліджень, спрямованих на підвищення якості обслуговування пасажирів, але немає робіт, які дали б змогу організувати маршрут за заданими параметрами якості обслуговування.

Характерними для минулого сторіччя були «показники, які відображали якість обслуговування пасажирів через державний вплив на проектування, організацію та функціонування міської пасажирської транспортної системи. Такими показниками були витрати часу пасажирів на: підхід до зупиночного пункту маршруту, переміщення пасажирів від зупиночного пункту до місця поїздки, очікування пасажиром транспорту на зупиночному пункті, переміщення від місця посадки до місця висадки» [5]. Всі розрахунки здійснювалися на основі даних про трудові переміщення мешканців міста.

На відсутність методів організації маршруту МПТ з урахуванням якості перевезень впливає і той факт, що з-понад 450 показників, які характеризують роботу пасажирської транспортної системи відсутні показники про якість обслуговування пасажирів, а, отже, відсутня конкурентна боротьба між АТП, яка вимагає підвищення якості та зниження тарифів. При чому, оцінка якості послуг ускладнена тим, що показники якості різняться в сукупності елементів в залежності від рішення органів місцевої влади.

Важкість процесу встановлення рівня якості послуг пов'язана з відсутністю чітких (цифрових) критеріїв виміру й оцінки якості, неможливістю в більшості випадків використання кількісних методів виміру рівня якості послуг (тільки лексичні виміри «добре», «достатньо» і т.д.), а також із суб'єктивним «інформаційним» очікуванням та упередженим (заздалегідь очікуваним) сприйняттям транспортних послуг користувачами. Тобто, очікувана якість послуги не збігається з реальною наданою, що, в свою чергу, пов'язане із впливом на пасажирів комунікації, засобів інформації, власних потреб та отриманого досвіду. Також слід зазначити, що сенс другорядних показників втрачається, якщо не виконуються умови до основних показників, задовольняючи інтереси перевізника та пасажирів.

Таким чином, при вивченні проблеми якості обслуговування пасажирів, аналізуючи роботи вітчизняних авторів, невирішеними залишаються такі питання:

- відсутність системи моніторингу якості надання транспортної послуги пасажирів, як тим, що знаходяться в салоні ТЗ, так і тим, що чекають прибуття його на зупинці маршруту;

- відсутній механізм для практичних розрахунків показників якості обслуговування пасажирів і, як наслідок, відсутній механізм для визначення рівня конкуренції між перевізниками, які користуються різними розрахунками показників якості перевезень;

- відсутні функції в муніципальній структурі, які реалізують моніторинг показників якості обслуговування пасажирів;

- не розроблені механізми впливу на перевізників за порушення показників якості обслуговування пасажирів.

Транспортні технології

Система моніторингу якості та ефективності пасажирських перевезень повинна мати наступні складові частини: соціальні, технічні, економічні, організаційні.

До соціальних складових можна віднести встановлення графіка роботи водіїв з дотриманням вимог по режиму їх праці та відпочинку, підвищення культури обслуговування пасажирів.

Технічні заходи полягають у закупівлі сучасних ТЗ підвищеної місткості і комфортабельності, раціональному поєднанні на маршрутах автобусів великої місткості та маршрутних таксі, вдосконаленні системи технічного обслуговування і поточного ремонту. В рамках технічних заходів повинно бути виконано підвищення коефіцієнта технічної готовності парку рухомого складу, а також рухомий склад повинен відповідати вимогам екологічності.

Економічні складові підвищення якості спрямовані на поліпшення системи планування перевезень і матеріального стимулювання, створення фондів заохочення і преміювання.

До організаційних складових підвищення якості відносяться створення єдиної центральної диспетчерської служби, вдосконалення структури міських пасажирських перевезень, оптимізація маршрутної мережі міського пасажирського транспорту. У питаннях регулювання дорожнього руху виникає необхідність прийняття рішень, пов'язаних з виділенням смуг для громадського транспорту. Для оптимізації використання рухомого складу необхідно чітко регулювання кількості транспортних засобів на маршруті в залежності від інтенсивності пасажиропотоку. На постійній основі рекомендується до впровадження в якості інформаційної основи оптимізації всієї системи управління автоматизована система моніторингу виконання послуг в сфері міських пасажирських перевезень. З метою підвищення комфортабельності очікування зупинки пункти повинні бути обладнані павільйонами, які можуть захистити від несприятливих погодних умов, забезпечені інформаційними щитами із зображенням схеми міста, транспортної мережі та виділенням маршрутів руху автобусів цієї зупинки.

На даний час, коли пасажирські перевезення здійснюються як державними так і приватними АТП, виник новий показник, який характеризує пасажиропотоки – це платоспроможність пасажирів. Цей показник цікавить будь-якого перевізника, тому що спроможність пасажирів заплатити за проїзд безпосередньо впливає на виручку АТП.

Пасажирські перевезення в м. Маріуполь здійснюють: комунальне підприємство «Маріупольське трамвайно-тролейбусне підприємство (МТТП)», 54 автотранспортних підприємств різної форми власності і 8 великих АТП. Виконком міської ради щорічно затверджує маршрути і графіки руху МПТ незалежно від форми власності. На сьогоднішній день в Маріуполі функціонує 11 трамвайних, 12 тролейбусних і 50 автобусних маршрутів, 17 з яких працюють у звичайному режимі з наданням усіх пільг згідно законодавства України.

Таблиця 2 – Види транспортної інфраструктури міста Маріуполя

Вид транспорту	Пасажиропотік, який обслуговується, млн. чол.	Максимальна місткість одного ТЗ, чол.	Протяжність маршрутної мережі, км.
Трамвай	21,7	224	53,65
Тролейбус	22,4	91-125	50,56
Автобус (ПАЗ; МАЗ)	5,2	42-104	134,09
Маршрутний автобус	55,7	43	595,26

Міський транспорт довгий час знаходився у стадії стагнації, що призвело до значного зниження частки комунального транспорту на ринку транспортних послуг в м. Маріуполь, у зв'язку з чим виник ряд проблемних питань, що потребують рішення. Тож основними проблемами міського транспорту м. Маріуполь є:

➤ **Зношеність рухомого складу на маршрутах:**

- 1) Більш 86% трамвайного парку віком більш 22 років, з них 63,5% - більш 30 років. (нормативний термін експлуатації - 15 років).
- 2) Більш 56% тролейбусного парку віком більш 10 років, з них 35,1% більш 20 років. (нормативний термін експлуатації - 10 років).
- 3) Більш 64% автобусного парку віком більш 10 років. (нормативний термін експлуатації - 10 років).

➤ **Стан інфраструктури електротранспорту:**

- 1) З 53,65 км трамвайного шляху – 32,65 км (більш 60%) знаходиться у незадовільному стані.
- 2) З 53,65 км трамвайної контактної мережі – 37,5 км (майже 70%) знаходиться у незадовільному стані.
- 3) З 50,65 км тролейбусної контактної мережі – 23,85 км (майже 50%) знаходиться у незадовільному стані.

➤ **Аварійність ремонтної бази:**

- 1) Покрівля будівель депо у незадовільному стані.
- 2) Застарілий верстатний парк для проведення ремонтів.
- 3) Поганий стан виробничих та господарських приміщень в депо.

➤ **Незадовільність жителів в управлінні на транспорті:**

- 1) Недостатня кількість рухомого складу на маршрутах міста.
- 2) Мала інформованість населення щодо транспорту міста.
- 3) Застарілі системи контролю над пасажирським транспортом.

➤ **Акцент на клієнтоорієнтованість, підсилення контролю і впровадження сучасних технологій:**

- 1) Перегляд логістики створення маршрутів, підсилення затребуваних маршрутів міста.
- 2) Створення системи управління і контролю транспорту (на базі GPS позиціонування).
- 3) Створення інформаційного сайту для відстеження руху транспорту на маршрутах, зокрема, для жителів міста на базі GPS позиціонування.

У Маріуполі, як і в більшості міст України, транспортна мережа склалася за часів СРСР і не отримала з того часу якісного розвитку. Разом з тим за минулі десятиліття відбулися істотні зміни в міській інфраструктурі, пов'язані, з одного боку, з активним розвитком підприємств сфери торгівлі, сервісу. В цей же час відбулось кількарразове зростання автомобільного парку (головним чином, особистого транспорту) і одночасно якісна зміна спрямованості і щільності транспортних потоків.

Комунальне підприємство «МТТУ» на даний момент не може у повному обсязі обслужити міські пасажирські перевезення з причини недостатнього фінансування підприємства в попередніх роках і непродуманої стратегії розвитку пасажирських перевезень, в даний момент конкуренцію комунальному підприємству складають маршрутні автобуси приватних підприємців і різних автотранспортних підприємств з різною формою власності.

Досліджуючи ситуацію в транспортній інфраструктурі пасажирських перевезень м. Маріуполь, складаються невтішні висновки, що протягом останніх років не існувало напрямків, стратегій і планів розвитку, які дозволили б підвищити комфорт і в цілому рівень обслуговування пасажирів. Висока зношеність основних фондів, відсутність інновацій та

Транспортні технології

механізму контролю. недостатнє фінансування є проблемою інфраструктури пасажирських перевезень і позначається на її функціонуванні.

Для успішного розвитку транспортної інфраструктури м. Маріуполь необхідно враховувати міжнародні тенденції, досягнення і прорахунки в вибудовуванні політики по організації ефективної діяльності транспортної інфраструктури. Так, опираючись на закордонний досвід, у м. Маріуполь вже впроваджено деякі інноваційні технології в управлінні транспортом. Наприклад, освоєння програмної системи PikasMerakas-планування, координація та оптимізація роботи всіх видів маршрутного транспорту та виведення розкладів руху в Інтернеті та на мобільному телефоні (в реальному часі).

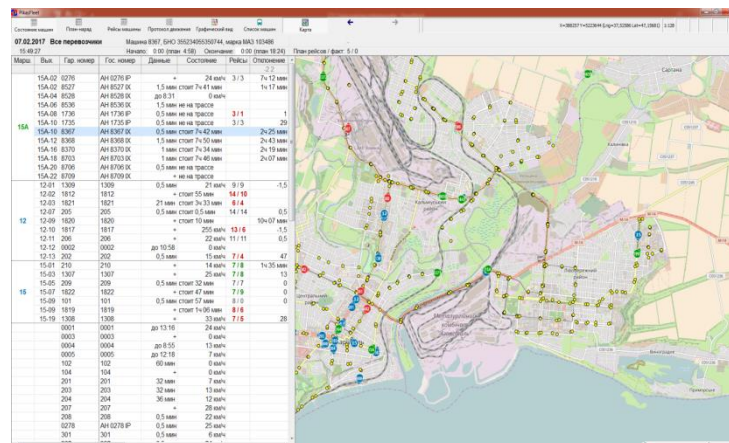


Рисунок 1 – Фрагмент із програмної системи PikasMerakas

Скарги і критичні зауваження пасажирів, що надходять до Департаменту транспорту та зв'язку служать своєрідним барометром стану рівня обслуговування. Скарги і заяви, відповідно до системи діловодства, фіксуються в спеціальних журналах і підлягають вивченню і розробці дій, спрямованих на виправлення допущених порушень. Для кількісної оцінки скарг пасажирів можна застосовувати коефіцієнт динамічного рівня скарг, який вираховується аналогічно коефіцієнту динамічного рівня безпеки перевезень. Тільки при цьому замість нарахованих штрафних балів застосовується число скарг і нарікань на роботу транспорту, визнаних справедливими, а замість пробігу підставляється річний обсяг перевезень пасажирів. Такий порядок дозволяє враховувати не тільки коливання числа скарг по роках, а й загальну тенденцію зміни в часі частоти їх надходження.

З недавнього часу Департаментом транспорту та зв'язку була запропонована система GPS моніторингу транспорту в сфері пасажирських перевезень, яка дозволяє: здійснювати контроль руху ТЗ, моніторинг технічного стану ТЗ на маршруті в режимі реального часу, переглядати історію руху ТЗ, контролювати витрати палива ТЗ, інформування диспетчерського центру в режимі реального часу і фіксування інформації в системному журналі; контролювати місцезнаходження ТЗ на конкретному маршруті, отримувати SMS, e-mail і онлайн-повідомлення на монітор оператора в разі збоїв роботи на маршруті; контролювати пасажиропотік кожного ТЗ; створювати різноманітну звітність щодо витрат палива, загального робочого часу, пробігу, часу прибуття на контрольні пункти і т.д.

Для покращення системи моніторингових процесів рівня якості Департаменту транспорту і зв'язку м. Маріуполь були розроблені рекомендації щодо удосконалення моніторингових процесів рівня задоволеності послугами пасажирського транспорту м. Маріуполя. Досліджуючи роботу Департаменту транспорту та зв'язку Маріупольської міської ради, можна зробити висновок, що напрям моніторингу процесів удосконалення

рівня задоволеності послугами пасажирського транспорту не цілком впроваджений в роботу, а саме, існують лише деякі з елементів систем моніторингу якості пасажирських перевезень, такі, як: диспетчерська служба моніторингу; обробка скарг та побажань щодо роботи перевізників; GPS-моніторинг транспортних засобів. Оцінивши рівень моніторингу якості транспортного обслуговування населення м. Маріуполя, пропонується вживання ряду основних заходів, спрямованих на вдосконалення моніторингової системи пасажирських перевезень, а саме:

- проведення постійного моніторингу пасажиропотоків і транспортних потоків на основних магістралях міста;
- оптимізацію схеми єдиної маршрутної мережі міського пасажирського громадського транспорту;
- визначення найбільш раціональних видів міського транспорту на основних міських магістралях і надання пріоритету міському електричному транспорту, як найбільш екологічно безпечному, який володіє великою провізною спроможністю, і забезпечує надійні і регулярні перевезення пасажирів;
- удосконалення систему GPS-моніторингу для розширення можливостей контролю роботи транспортних засобів;
- створення системи для опитувань пасажирів про якість перевезень;
- створення відділу моніторингу якості задоволеності пасажирськими перевезеннями.

Таким чином, цілком закономірно, що моніторинг якості транспортних послуг не можна звести лише до виміру їх рівня, але вимір якості - перший крок у складному процесі забезпечення конкурентоспроможності транспортної послуги на ринку і її контролю.

Від відгуків про послуги залежить Net Promoter Score (показник лояльності клієнтів, NPS) - опитування для оцінки рівня задоволеності пасажирів дають нам необхідні відомості для прийняття більш ефективних рішень. Проведений в дослідженні аналіз показує, що підприємства, які вимірюють рівень задоволеності своїх пасажирів, на третину частіше вважають себе «успішними», ніж підприємства, які цього не роблять.

Таким чином, пропонується запровадити систему моніторингу критеріїв якості рівня задоволеності послугами пасажирського транспорту. Перш за все, надається перелік цих критеріїв:

Таблиця 3 – Ранжування значимості критеріїв вибору перевізників

№ з/п	Критерій (показник)	Значущість (бал)
1	Тарифи (вартість перевезення)	14
2	Безпека перевезень	12
3	Комфортність	11,5
4	Кваліфікація персоналу	10
5	Надійність (дотримання часу прибуття)	9,5
6	Загальний час перевезення	9
7	Якість сервісу	9
8	Відстеження руху транспортного засобу	9
9	Якість організації продажу транспортних послуг	8
10	Екологічність	8

Виходячи з цього, побудована рейтингова таблиця для вибору перевізника, який більше співпадає з вимогами задоволеності послугами пасажирського транспорту.

Таблиця 4 – Рейтинг перевізників за критеріями якості

№ з/п	Критерій	Значу- щість	Перевізники					
			I		II		III	
			Оцінка max=10	Рейтинг (бали)	Оцінка max=10	Рейтинг (бали)	Оцінка max=10	Рейтинг (бали)
1	Тарифи (вартість перевезення)	14	6	84	7	98	6	84
2	Безпека перевезень	12	5	60	7	84	6	72
3	Комфортність	11,5	5	57,5	8	92	4	46
4	Кваліфікація персоналу	10	5	50	8	80	5	50
5	Надійність (дотримання часу прибуття)	9,5	8	76	7	66,5	6	57
6	Загальний час перевезення	9	8	72	6	54	7	63
7	Якість сервісу	9	4	36	7	63	5	45
8	Відстеження руху ТЗ	9	8	72	8	72	7	63
9	Якість організації продажу транспортних послуг	8	3	24	6	48	5	40
10	Екологічність	8	3	24	7	56	5	40
	Підсумкові показники	100		555,5		713,5		452

Якщо підсумковий показник знаходиться в межах від 800 до 1000, то можна сказати, що якість перевезень у відмінному стані; від 600 до 799 – у доброму стані; від 400 до 599 – у незадовільному; нижче 400 – у жахливому стані.

Виходячи з результатів рейтингової таблиці, можна зробити висновок, що рівень задоволеності послугами пасажирського транспорту найбільш прийнятний у перевізника № 2, а у №1 і №3 рейтинг набагато нижчий. Таким чином, вірогідність того, що пасажир обере перевізника № 2 – найбільша.

Опитування клієнтів допоможуть дізнатися, що подобається і що не подобається пасажирам, а також визначити ті аспекти, в яких можна досягти поліпшення. Наприклад, що думає про ціни середньостатистичний пасажир? Вони занадто високі? Або в самий раз? Як добре персонал справляється з обслуговуванням, або наскільки відділ з управління роботи з клієнтами розуміє їхні потреби? Найчастіше пасажири змушують звернути увагу на проблеми, які могли б бути втрачені або не враховані. Дані, які будуть отримані за результатами вивчення рівня задоволеності клієнтів, можуть також допомагати керівникам визначати ключові фактори і показники, які їм необхідно відстежувати в роботі відділів і співробітників.

Не менш важливим є формування системи вимог перевізників, які задіяні у процесі надання послуг. У більшості випадків один і той же критерій оцінки якості може оцінюватись по-різному, тож, була створена таблиця для визначення рівня якості обслуговування збоку перевізників з дещо зміненими критеріями.

Таблиця 5 – Рейтинг критеріїв якості збоку перевізників

№ з/п	Критерій	Значущість	Перевізники					
			I		II		III	
			Оцінка max=10	Рейтинг (бали)	Оцінка max=10	Рейтинг (бали)	Оцінка max=10	Рейтинг (бали)
1	Прибуток	1 4	7	98	7	98	8	11 2
2	Безпека перевезень	1 2	8	96	8	96	7	84
3	Комфортність	1 1,5	6	69	6	69	7	80, 5
4	Підвищення кваліфікації	1 0	5	50	9	90	7	70
5	Надійність (технічний стан)	9 ,5	6	57	7	66, 5	6	57
6	Загальний час перевезення	9	7	63	7	63	8	72
7	Сервіс	9	8	72	7	63	6	54
8	Моніторинг руху ТЗ	9	8	72	8	72	7	63
9	Сучасність організації продажу транспортних послуг	8	5	40	7	56	6	48
10	Екологічність	8	4	32	8	64	6	48
	Підсумкові показники	1 00		64 9		73 7,5		68 8,5

У зв'язку із тим, що у споживача і перевізника має місце різне значення фактичного сприйняття якості, коефіцієнт виконання вимог також буде різним. Порівняння одержаних оцінок дозволяє за кожною вимогою розрахувати коефіцієнт адекватності оцінки якості в системі «споживач — виконавець»:

$$\omega_i = K_{сп}^c / K_{сп}^п, \text{ де } \omega_i \approx 1$$

де ω_i — коефіцієнт адекватності оцінення якості виконання вимоги споживачів до автотранспортних послуг у системі «споживач — виконавець»;

$K_{сп}^c$ — коефіцієнт виконання вимоги з якості з позицій споживачів;

$K_{сп}^п$ — коефіцієнт виконання вимоги з якості з позицій перевізників.

ВИСНОВКИ

1. Проведено моніторинг методів урахування критеріїв якості при перевезенні пасажирів міським громадським транспортом. Питання кількісної оцінки якості транспортного обслуговування населення та засобів її підвищення пов'язано з відсутністю єдиної системи моніторингу якості транспортних послуг. Актуальність дослідження базується на реально сформованій на сьогодні потребі такого управління перевезеннями, за яким забезпечувалися б економічні інтереси перевізників та основні вимоги пасажирів до якості.

2. Досліджено моніторинг якості обслуговування пасажирів як сукупність показників, що виявляють порушення прав пасажирів при користуванні маршрутом міської пасажирської транспортної системи та їх еталонні значення. Також були досліджені

Транспортні технології

характерні особливості роботи Департаменту транспорту та зв'язку м. Маріуполя. Опираючись на закордонний досвід, виявлено проблему недостатнього рівня якості моніторингових процесів удосконалення рівня задоволеності послугами пасажирського транспорту в м. Маріуполь.

3. Запропоновано впровадження удосконаленої системи моніторингу задоволеності послугами пасажирських перевезень на основі оцінки критеріїв якості в м. Маріуполь. Використання системи моніторингу критеріїв якості рівня задоволеності послугами пасажирського транспорту дасть змогу підвищити очікування пасажирів та налагодити ефективну роботу перевізників. Таким чином, транспортні підприємства, незалежно від форм власності, щоб успішно працювати на транспортному ринку, зможуть забезпечити високий рівень показників якості транспортного обслуговування, ефективність транспортного виробництва та належну конкурентоспроможність транспортних послуг.

Перелік використаних джерел:

1. *Аболонин, С. М.* Конкурентоспособность транспортных услуг / С. М. Аболонин. – М. : ИКЦ «Академкнига», 2004. – 172 с.
2. *Боровик, Н. А.* Оцінка якості та ефективності пасажирських перевезень в сучасних ринкових умовах / Н. А. Боровик, Т. С. Сив'юк // Управління проектами, системний аналіз і логістика. – 2012. – Вип. 9. – С. 268–270.
3. *Гілевська К. Ю.* Удосконалення організації роботи автобусів на маршруті за критеріями якості / Є. Г. Логачов, К. Ю. Гілевська // World science : proceedings of the International Scientific and Practical Conference «Modern Scientific Achievements and Their Practical Application (Dubai, October 20–21, 2015 y.)». – 2015. – Vol. 1, N 3 (3). – P. 63–67.
4. *Гончарук, Т. І.* Конкуренція і конкурентоспроможність: зміст і розвиток у перехідній економіці / Т. І. Гончарук. – Суми : ВВП «Мрія-1» ЛТД, 2003. – 60 с.
5. *Доля, В. К.* Методы организации перевозок пассажиров в городах / В. К. Доля. – Харьков : Основа, 1992. – 144 с.
6. *Ігнатенко, О. С.* Стандартизація і пасажирські перевезення / О. С. Ігнатенко, В. С. Маруніч, О. Д. Шаповалова // Автошляховик України. – 1994. – Вип. 2. – С. 5–7.
7. *Тлегенов, Б. Н.* Анализ методов оценки и показателей качества системы городского пассажирского транспорта / Б. Н. Тлегенов // Современные проблемы науки и образования. – 2012. – Вып. 3. – С. 100–108.
8. *Филимонова, І. Ю.* Теоретичні аспекти оцінки якості роботи автобусів / І. Ю. Филимонова, Т. Є. Василенко, Д. В. Фесенко // Вісті Автомобільно-дорожнього інституту. – 2011. – Вип. 2 (13). – С. 15–20.
9. *Шураков, Я. П.* Зарубежный опыт организации обслуживания пассажиров городским пассажирским транспортом / Я. П. Шураков // Автотранспортное предприятие. – 2008. – Вип. 9. – С. 18–21.

Бурлакова Г. Ю.

ИССЛЕДОВАНИЕ МОНИТОРИНГОВЫХ ПРОЦЕССОВ УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ УРОВНЯ УДОВЛЕТВОРЕННОСТИ УСЛУГАМИ ПАССАЖИРСКОГО ТРАНСПОРТА Г. МАРИУПОЛЯ

В статье проводятся исследования существующих оценочных критериев качества пассажирских автомобильных перевозок. Выявлены проблемы, решение которых

Транспортні технології

закладається в удосконаленні способів моніторингу якості пасажирських перевезень шляхом удосконалення системи і критеріїв оцінювання послуг, які надаються пасажирським транспортом. Досліджено моніторинг якості обслуговування пасажирів як сукупність показників, які виявляють порушення прав пасажирів при використанні маршрутом міської пасажирської транспортної системи і їх рейтингові значення, проранжировані критерії якості пасажирських перевезень з точки зору споживача і виробника транспортної послуги.

Також в статті проводиться моніторинг методів урахування критеріїв якості при перевезенні пасажирів міським громадським транспортом, мотивується подальше рішення питання про вимірювання якості транспортного обслуговування населення і засобів його підвищення, що пов'язано з відсутністю єдиної системи моніторингу якості транспортних послуг. Актуальність дослідження базується на реально склалася в нинішнє час потреба такого управління перевезеннями, при якому забезпечувались би і економічні інтереси перевізників, і основні вимоги пасажирів до якості перевезення.

Також були досліджені характерні особливості роботи Департаменту транспорту і зв'язу г. Маріуполя. Спираючись на зарубіжний досвід, виявлено проблема недостатнього рівня якості моніторингових процесів для удосконалення рівня задоволеності послугами пасажирського транспорту в г. Маріуполь.

Розроблені рекомендації по удосконаленню моніторингових процесів рівня задоволеності послугами пасажирського транспорту г. Маріуполя.

Ключові слова: оцінка якості пасажирських перевезень, багатокритеріальність оцінки, клієнтоорієнтований підхід, нормативи показників якості, рівень задоволеності перевезеннями, моніторингові процеси.

Burlakova G. Y.

INVESTIGATION OF MONITORING PROCESSES TO IMPROVE THE LEVEL OF SATISFACTION WITH THE SERVICES OF PASSENGER TRANSPORT OF G. MARIUPOL

The article examines existing evaluation criteria for passenger road transport. Problems are identified, the solution of which is to improve the methods of monitoring the quality of passenger traffic by improving the system and criteria for assessing the services provided by passenger transport. The monitoring of the quality of passenger service as a set of indicators that reveal violations of passenger rights when using the route of the city passenger transport system and their rating values are analyzed, quality criteria for passenger traffic from the point of view of the consumer and the manufacturer of transport services are ranked.

Also, the article monitors the methods of recording quality criteria for the transport of passengers by urban public transport, motivates a further solution to the question of measuring the quality of transport services of the population and the means of its increase, due to the lack of a unified system for monitoring the quality of transport services. The relevance of the study is based on the real needs of such a management of transportation, which would ensure the economic interests of carriers, and the basic requirements of passengers to the quality of transportation.

Characteristic features of the Department of Transport and Communications of Mariupol were also studied. Based on foreign experience, the problem of inadequate level of quality of monitoring processes was found to improve the level of satisfaction with passenger transport services in Mariupol.

Recommendations on improvement of monitoring processes of the level of satisfaction with passenger transport services of Mariupol have been developed.

Key words: *assessment of passenger transport quality, multicriteriness of estimation, client-oriented approach, norms of indicators of quality, level of satisfaction with transportation, monitoring processes.*

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Берестовой А. М.

Стаття надійшла 18.10.2018 р.

УДК 656.615

Зинченко С. Г.¹, Хлестова О. А.², Дергаусов М. М.³, Хлопецкая Л. Ф.⁴

ВЛИЯНИЕ УВЕЛИЧЕНИЯ ВЕСОВЫХ И ГАБАРИТНЫХ РАЗМЕРЕНИЙ ЭКСПОРТНО-ИМПОРТНОЙ ПРОДУКЦИИ НА РАБОТУ ТРАНСПОРТНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ МОРСКОГО ПОРТА

В статье рассмотрены вопросы влияния увеличения весовых и габаритных измерений экспортно-импортной продукции на работу транспортной инфраструктуры морского порта, сделан анализ взаимодействия транспортных систем морского региона. Поставлена и исследована проблема влияния массогабаритных характеристик грузов (стальных рулонов) на транспортную систему, а также предложена математическая модель исследования. Определена зависимость изменения весогабаритных характеристик стальных рулонов, которая влияет на изменение положения центра тяжести морского судна, следовательно – на управление перегрузочным процессом порта. Установлено, что увеличение весогабаритных характеристик стальных рулонов приводит к снижению времени погрузки данного груза в порт и повышению остойчивости судна.

Ключевые слова: *морской порт, транспорт, груз, стальные рулоны, модель, судно, погрузка, разгрузка.*

Постановка проблемы. Мариупольский морской торговый порт входит в транспортную систему, обслуживающую Восточный промышленно-аграрный, а также частично другие регионы Украины. Здесь пересекаются маршруты железнодорожного, автомобильного и морского транспорта, перегружаются различные грузы с одного вида транспорта на другой.

В Восточно-украинском промышленно-аграрном транспортном регионе находятся одни из крупнейших в мире металлургические, машиностроительные и горнодобывающие предприятия, в том числе близлежащие к Мариупольскому морскому порту: Мариупольские металлургические комбинаты имени Ильича и «Азовсталь», машиностроительные заводы Новокраматорский и Мариупольский «Азовмаш», шахты Донбасса и другие производства региона, в том числе и сельскохозяйственные.

Эти производители отправляют в значительных количествах через морской порт свою многономенклатурную разногабаритную продукцию, в том числе и на экспорт, железнодорожным или автомобильным транспортом. Одновременно, эти же предприятия производители получают через морской порт, в том числе импортное технологическое

¹ канд. экон. наук, доц. каф. управления персоналом и экономики труда МИ «МАУП», г. Мариуполь, zinchenko@ukr.net

² канд. техн. наук, доцент, каф. охраны труда ГВУЗ «ЛПТУ», г. Мариуполь, batami36@gmail.com

³ канд. техн. наук, доц., каф. навигации и управления судном АМИ НУ «ОМА», г. Мариуполь, kafnavigation@ami.edu.ua

⁴ аспирант, Восточноукраинский Национальный Университет им. В. Даля, г. Северодонецк, lkhlpetskaya@gmail.com

оборудование и станки с массогабаритными характеристиками широкого спектра. Это создает определенные проблемы в организации и технологии работы транспортно-складского погрузо-разгрузочного оборудования морского порта, а также в обеспечении безопасности мореплавания морских судов.

В зависимости от массогабаритных характеристик стальных рулонов транспортировка их в порт отправки и из морского порта получателя осуществляется вагонами, автотранспортом, в контейнерах, а также каботажными судами, например, из порта меткомбината «Азовсталь» в Мариупольский морской торговый порт для перегрузки на морские суда. Очевидно, что от того, в каком виде продукция или оборудование следует через морской порт, зависит работа всего комплекса инфраструктуры порта, а в первую очередь работа транспортных, погрузочно-разгрузочных и складских объектов (оснащение) морского порта.

Предприятия Восточного региона Украины постоянно развиваются, совершенствуют свою продукцию, являясь клиентоориентированными в экспортно-импортном отношении, получая или отправляя через морской порт продукцию или сырье собственного производства, а также получают необходимое для своего производства соответствующее технологическое оборудование, сырье [1]. Металлургические предприятия региона нацелены на удовлетворение потребностей покупателей в более тяжелом и качественном рулонном прокате [2].

Анализ последних исследований и публикаций. Развитию методологических основ управления грузовыми перевозками в транспортных системах посвящена работа Кузнецова А. П. [3], в частности, в ней отражена роль логистики и информационных потоков в процессе управления деятельностью предприятия. Так, в работе [4] рассмотрена инновационная составляющая работы крупных предприятий, информация представлена как самостоятельная система, состоящая из подсистем (элементов). В работе [5] предлагается решение логистических проблем предприятий методом транспортной эконометрии. Однако, вопрос влияния увеличения весовых и габаритных измерений экспортно-импортной продукции на работу транспортной инфраструктуры морского порта в настоящее время проработан недостаточно.

Цель исследования. На примере изменения массогабаритных характеристик стальных рулонов, как укрупненных грузовых единиц установить некоторые закономерности влияния названных характеристик грузов на основные технологические процессы морского порта и безопасность плавания морских судов. Укрупнение грузовых партий требует изменения характеристик транспортных объектов по всей логистической цепочке и более детального расчета предельных параметров рулонов по габаритам и весу при перегрузке названных грузов в морском порту с железнодорожного и автомобильного транспорта на морские суда.

Изложение основного материала. Учитывая то обстоятельство, что основным видом внешнего транспорта, обслуживающим Мариупольский порт в экспортно-импортном отношении, является железнодорожный, габариты его подвижного состава и габариты приближения строений порта в значительной мере оказывают влияние на организацию работ транспортных, складских и перегрузочных объектов в инфраструктуре самого морского порта.

Так, например, одним из основных видов металлопродукции, транспортируемых через Мариупольский порт, является сталь в рулонах. Их основные весовые и габаритные размерения для перевозок железнодорожным, автомобильным и морским транспортом приведены на рис. 1.

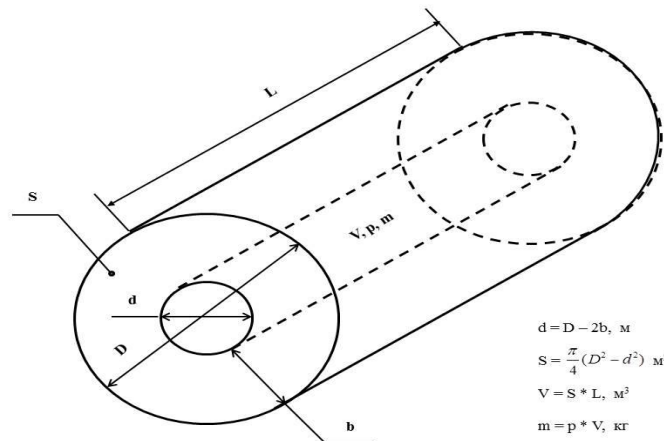


Рисунок 1 – Основные ориентировочные массогабаритные показатели стальных рулонов, влияющие на работу транспортной инфраструктуры морского порта

Вес и размеры стальных рулонов определяются по их внутренним d и внешним диаметрам D , длине L и др., в том числе с учетом характеристик упаковки рулонов. При этом учитываются значения основных характеристик стальных рулонов, влияющих на организацию технологий работы инфраструктуры порта и обеспечение безопасности мореплавания.

В настоящее время диапазоны названных параметров для разных видов транспорта изменяются в значительных интервалах, что приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Массогабаритные характеристики стальных рулонов

Наименование	Обозначение	Ед. изм.	Диапазон значений
Внешний диаметр	D	м	0,3 ÷ 1,97
Длина	L	м	0,1 ÷ 1,3
Объем	V	м^3	0,025 ÷ 3,59
Площадь торцевой части	S	м^2	0,25 ÷ 2,76
Ср. уд. плотность УГЕ	ρ	$\text{т}/\text{м}^3$	7,7 ÷ 8,2
Масса рулона	M	т	0,03 ÷ 10,00

В связи с этим одной из проблем технологических процессов работы морского порта является использование различного по типовым характеристикам погрузочно-разгрузочного и складского оборудования. Кроме того, изменение типоразмеров рулонов стали влияет также на безопасность мореплавания в части изменения центра тяжести морского судна.

Особенностью транспортирования таких стальных рулонов является то, что они располагаются на транспортных средствах в горизонтальном по длине или вертикальном положении. Иногда, при малых размерных показателях отдельных рулонов, они формируются в отдельные блоки (грузовые места, укрупненные грузовые единицы) значительных размеров для удобства транспортирования, осуществления погрузочно-

разгрузочных и складских работ с ними, а также расположения и крепления их на складах, причалах и на морских судах.

Перевозка стали в рулонах требует от всех звеньев транспортной системы осторожного (бережного) ее осуществления, аккуратности и концентрации внимания. Даже точечное повреждение рулона приводит к повреждению листовой стали практически по всей длине листа.

Крепление стальных рулонов различных типоразмеров и весовых характеристик в трюме морского судна требует наличия на нем соответствующих разнообразных типов сепарационных и других материалов. Укладка и крепление стальных рулонов в трюме судна в зависимости от их размеров осуществляется, в основном как показано на рис. 2. Для крепления рулонов в трюме используются найтовы, деревянные упоры, клинья, прокладки, связывающие материалы (в основном металлическая проволока) и другие.

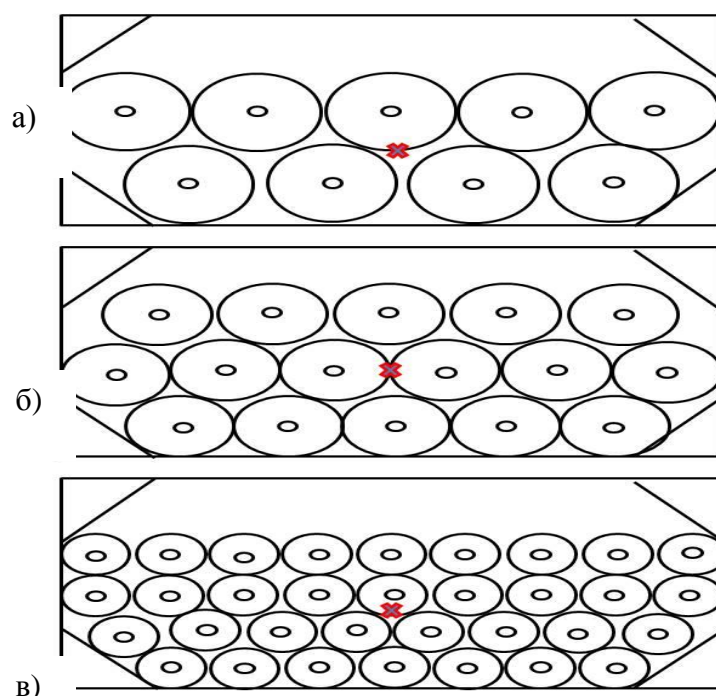


Рисунок 2 – Схема укладки и крепления стальных рулонов разных размеров в трюме судна (поперечное сечение): а) больших; б) средних; в) малых.

X – положение центра тяжести судна

В последние годы клиентам потребовались стальные рулоны существенно более значительных размеров, что требует обеспечения безопасной (по габаритам и креплениям) и эффективной (по расположению и весу при перевозке и хранении) работе транспортных средств.

Это обстоятельство потребовало изменений технологии работ и соответствующего технологического оборудования основного металлургического производства, которое также поставляется на промпредприятие в основном через морской порт. Так, в сентябре 2016 г. между металлургическим комбинатом имени Ильича и Новокраматорским машиностроительным заводом подписано соглашение о поставке нового оборудования меткомбинату для производства рулонов стали большого веса, в которых заинтересованы иностранные потребители (покупатели) [2].

Вес рулона увеличивается с 10 тонн до 17 тонн, а в перспективе до 27 тонн, при повышении качества смотки рулона и снижении риска повреждения продукции при ее

дальнейшей транспортировке на морских судах. Тем самым будут удовлетворены потребности покупателей в более тяжелом и качественном рулонном прокате.

Кроме того, меткомбинату имени Ильича будет поставлено оборудование из Австрии на новую машину значительного веса и размеров для непрерывного литья, основные конструктивные составляющие которой будут перевезены морским транспортом. Таким образом, в морском порту наблюдается тенденция глобализации – укрупнения грузовых партий по всей номенклатуре грузов, особенно при перевозках грузов для металлургии, машиностроения и сельскохозяйственной продукции [4].

Одной из особенностей транспортировки стальных рулонов является их громоздкость и тяжеловесность, что требует соблюдения особых международных правил их перевозки [3]. Соблюдение требований правильного (надлежащего) размещения и крепления грузов в трюме морского судна является крайне важным для обеспечения безопасности мореплавания.

Одной из причин ненадлежащего размещения и крепления грузов на морских судах является человеческий фактор («авось»), которого иногда придерживаются экипажи морских судов и работники порта, ответственные за погрузку грузов на судно, что в конечном итоге может привести к гибели судна из-за смещения груза в трюме судна и потери последним требуемой остойчивости вследствие смещения его центра тяжести [6].

Исходя из данных рис. 2 по формулам, приведенным на рис. 1, произведен расчет изменения центра тяжести груза в трюме судна по высоте, в зависимости от соотношения габаритных характеристик d (площадь отверстий) и D стальных рулонов и приведен прогнозный тренд изменения возвышения центра тяжести Z_{cp} груза в трюме судна (рис. 3).

На рис. 3 сформировано поле изменения центра тяжести судна исходя из площади отверстий рулонов d .

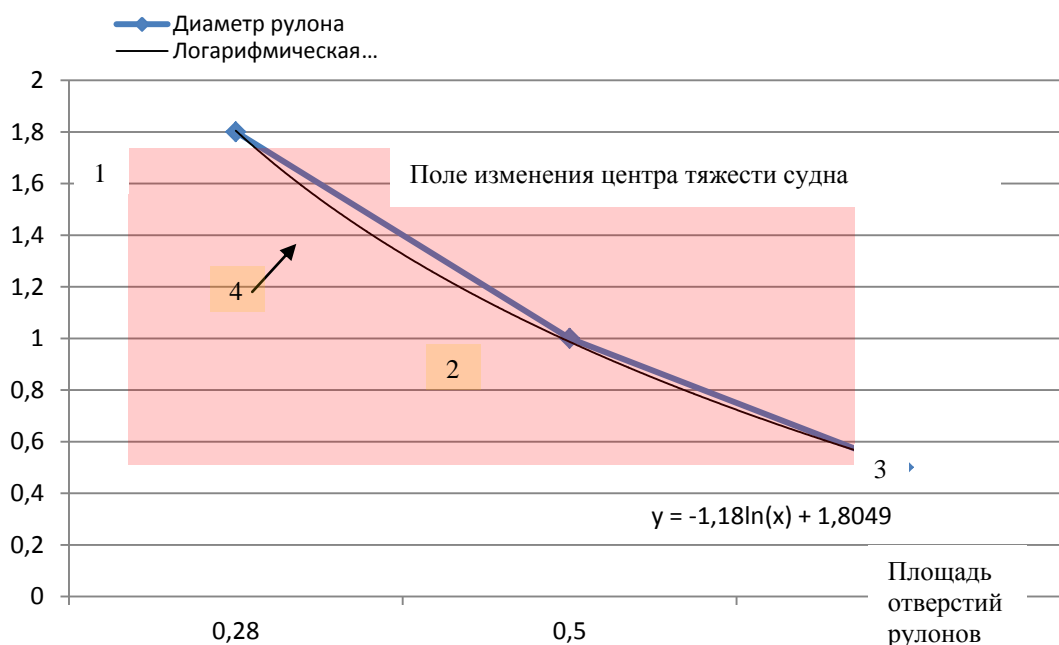


Рисунок 3 – Тренд изменения остойчивости судна от весогабаритных характеристик стальных рулонов, погруженных в трюм морского судна. Условные обозначения: 1, 2, 3 – точки, характеризующие основные погрузочные размеры рулонов; 4 – линия тренда

Прогнозный тренд данного изменения может быть задан в виде результирующей полулогарифмической функции [5]:

$$f(x) = a_0 + a_1 \log x; a_1 < 0. \quad (1)$$

где: a_0, a_1 – управляемые переменные параметры преобразования графика логарифмической функции (a_1 – основной факторный признак, a_0 – влияние прочих факторов).

По данным рис. 3 получена функция тренда: $y = -1,18 \ln(x) + 1,8049$.

Очевидно, что количество рулонов, размещаемых в трюме морского судна, при общем суммарном весе, различно: в первом случае – это 9 больших рулонов, во втором случае – это 16 средних рулонов и в третьем случае – 33 малых рулона.

Центры тяжести каждого грузового места (относительно рулона) находятся в его геометрическом центре. Параметр d для каждого рулона может являться постоянной величиной, поскольку зависит лишь от диаметра барабана, на который металлургическим комбинатом наматывается определенное (произвольное, любое) число витков стального листа, которые образуют в результате диаметр D . А морской порт подстраивает свое оборудование, в данном случае вилы автопогрузчика, под конкретный диаметр d .

Таким образом, центр тяжести судна при изменении весогабаритных характеристик стальных рулонов будет изменяться лишь от количества рулонов, а, следовательно, от различия их внутренних диаметров d .

Рассчитано изменение площади S в зависимости от изменения диаметра D при количестве рулонов 9; 16 и 33 при постоянном диаметре d .

Принимается D рулона соответственно 1,8 м; 1 м и 0,5 м (пусть $d = 0,2$ м).

$$S = \frac{\pi}{4} (D^2 - d^2), \quad (2)$$

При подстановке получаем значения S соответственно $2,5 \text{ м}^2$; $0,75 \text{ м}^2$ и $0,16 \text{ м}^2$. Диаметр каждого внутреннего отверстия рулона будет равен:

$$S_{\text{внут}} = \pi \left(\frac{d}{2}\right)^2 = 3,1416 * (0,2 / 2)^2 = 0,03 \text{ м}^2. \quad (3)$$

Соответственно, площади отверстий всех рулонов составят $n \cdot S_{\text{внут}}$, а именно $0,28 \text{ м}^2$; $0,5 \text{ м}^2$ и 1 м^2 . Центр тяжести судна с большими рулонами будет ниже.

Возможна загрузка смешанных размеров рулонов. При этом центр тяжести может изменяться в пределах поля (области) резерва, выполненной на рис. 3.

Итак, данным исследованием установлено, что изменение весогабаритных характеристик стальных рулонов приводит к изменению положения центра тяжести морского судна, как представлено на рис. 2. Определение центра тяжести важно для правильной загрузки судна.

ВЫВОДЫ

1. Анализ влияния увеличения весовых и габаритных измерений экспортно-импортной продукции на работу транспортной инфраструктуры морского порта показал, что

Транспортні технології

при значительном уровне грузопотоков большое значение имеет своевременное внедрение новых кранов, погрузчиков и др. транспортных объектов у перевозчиков и в морском порту. Это позволит улучшить структуру работы порта, выбрать рациональное направление повышения эффективности работы всей транспортно-технологической системы и повысить конкурентоспособность порта.

2. При оценке предельных значений весогабаритных характеристик стальных рулонов большое значение имеет их количество и внутренний диаметр, под который подстраивается транспортная инфраструктура порта.

3. Установлено, что увеличение весогабаритных характеристик исследуемого груза – стальных рулонов также приведет к снижению погрузочного (стояночного) времени в порту (ускорению погрузки-разгрузки) и повышению остойчивости судна.

Список использованных источников:

1. Кудрина, Л. Вадим Бойченко о средней зарплате в Мариуполе и других актуальных вопросах / Л. Кудрина // Приазовский рабочий. – 2016. – № 106 (20248). – 9 сент.
2. Чертушкин, В. В. Меткомбинат имени Ильича модернизирует прокатное производство / В. В. Чертушкин // Приазовский рабочий. – 2016. – № 106 (20250). – 13 сент.
3. Кузнецов, А. П. Методологические основы управления грузовыми перевозками в транспортных системах / А. П. Кузнецов. – М. : ВИНТИ РАН, 2002. – 276 с.
4. Зінченко, С. Г. Формування системи оцінки результативності інноваційного розвитку машинобудівних підприємств : дис. ... канд. екон. наук. : 08.00.04 / Зінченко С. Г. – Хмельницький, 2010. – 205 с.
5. Рихтер, К. Ю. Транспортная эконометрия : пер. с нем. / К. Ю. Рихтер. – М. : Транспорт, 1982. – 317 с.
6. Берестовой А. М. Повышение уровня безопасности мореплавания суброгационных морских судов / А. М. Берестовой, С. Н. Перепечаев, А. А. Черныш // Сучасні тенденції морської освіти в умовах трансформації морегосподарського комплексу України : матеріали міжнар. науково-техн. конф. (Маріуполь, 30 травня 2014 р.). – Маріуполь, 2014. – С. 67–69.

Зінченко С. Г. Хлестова О. А. Дергаусов М. М. Хлопецька Л. Ф.

ВПЛИВ ЗБІЛЬШЕННЯ ВАГОВИХ І ГАБАРИТНИХ РОЗМІРІВ ЕКСПОРТНО-ІМПОРТНОЇ ПРОДУКЦІЇ НА РОБОТУ ТРАНСПОРТНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ МОРСЬКОГО ПОРТУ

У Східноукраїнському регіоні промислово-сільськогосподарського транспорту є один з найбільших у світі металургійних, машинобудівних і гірничодобувних підприємств, в тому числі Маріупольські металургійні комбінати ім. Ілліча та Азовсталь, машинобудівні заводи Новокраматорський та Маріупольський Азовмаши, Донбаські та інші галузі промисловості регіону, у тому числі сільськогосподарські.

Ці виробники надсилають у великих обсягах через морський порт свою різноманітну продукцію різного розміру, в тому числі для експорту, залізничним або автомобільним транспортом.

Очевидно, що робота всього комплексу портової інфраструктури, і перш за все роботи транспортної, вантажно-розвантажувальної та складської ланок морського порту, залежить від обладнання або форми проходження товарів через морський порт.

Розглянуто проблему впливу вагових та розмірних характеристик вантажу (сталевих рулонів) на транспортну систему, запропоновано математичну модель

Транспортні технології

дослідження. Питання впливу збільшення ваги та габаритів експортно-імпоротної продукції на роботу транспортної інфраструктури морського порту в даний час недостатньо розвинене.

Консолідація вантажних лотів вимагає зміни характеристик транспортних засобів по всьому логістичному ланцюгу та більш детального розрахунку граничних параметрів сталевих рулонів з точки зору габаритів та ваги при перевантаженні цих вантажів у морському порту від залізничного та автомобільного транспорту на судна.

Однією з проблем технологічних процесів морського порту є використання навантажувально-розвантажувального та складського обладнання різного типу. Крім того, зміна розмірів сталевих рулонів також впливає на безпеку плавання з точки зору зміни центру тяжіння морського судна.

Останніми роками клієнти потребують сталевих рулонів значно більших розмірів, що вимагає забезпечення безпеки (за розміром і кріпленням) та ефективної (за місцем розташування і вагою при транспортуванні та зберіганні) експлуатації транспортних засобів.

Ця ситуація вимагає змін у технології роботи та відповідному технологічному обладнанні основного металургійного виробництва, яке також поставляється на промислові підприємства переважно через морський порт.

Вага сталевих рулонів збільшується з 10 тон до 17 тон, а в майбутньому до 27 тон, одночасно підвищується якість обмоток і зменшується ризик пошкодження вантажу при його подальшому транспортуванні морськими суднами. Це задовільнить потреби споживачів у важкій і високоякісній прокатній продукції.

Визначається залежність зміни вагових та розмірних характеристик сталевих рулонів, що впливає на зміну положення центра тяжіння морського судна, а отже, і на контроль за їх перевантаженням в порту. Встановлено, що збільшення характеристик ваги та розміру сталевих рулонів призводить до зменшення часу завантаження цього вантажу в порту та збільшення остійності судна.

Це дослідження показало, що зміна характеристик ваги та розміру сталевих рулонів призводить до зміни положення центра тяжіння морського судна.

Ключові слова: морський порт, транспорт, вантаж, сталеві рулони, модель, судно, навантаження, вивантаження.

Zinchenko S., Khlestova O., Dergausov M., Khlopetskaya L.

THE EFFECT OF INCREASING WEIGHT AND SIZE DIMENSIONS OF EXPORT-IMPORT GOODS FOR TRANSPORT INFRASTRUCTURE SEAPORT WORKING

In the East Ukrainian industrial-agricultural transport region there are one of the world's largest metallurgical, machine-building and mining enterprises, including the Mariupol metallurgical combines Ilyich and Azovstal, the machine-building plants Novokramatorsky and Mariupolsky Azovmash, Donbass mines and other industries in the region, including agricultural ones.

These manufacturers send in large quantities through the seaport their diversified products of various sizes, including for export, by rail or road.

It is obvious that the work of the entire port infrastructure complex, and first of all the work of transport, loading and unloading and storage facilities (equipment) of the seaport depends on the form in which products or equipment follow through the seaport.

The problem of the influence of the weight and size characteristics of the goods (steel coils) on the transport system has been posed and studied, and a mathematical model of the research has

been proposed. The issue of the impact of increasing the weight and overall dimensions of export-import products on the work of the transport infrastructure of the seaport is currently insufficiently developed.

Consolidation of cargo lots requires changing the characteristics of transport facilities along the entire logistics chain and more detailed calculation of the limiting parameters of coils in terms of dimensions and weight when transshipping these goods in the seaport from rail and road transport to ships.

One of the problems of technological processes of the seaport is the use of loading and unloading and storage equipment of various types. In addition, changing the sizes of steel coils also affects the safety of navigation in terms of changing the center of gravity of a marine vessel.

In recent years, customers have required steel coils of significantly larger sizes, which requires ensuring safe (in size and fastenings) and efficient (in location and weight during transportation and storage) operation of vehicles.

This circumstance required changes in the technology of work and the corresponding technological equipment of the main metallurgical production, which is also supplied to the industrial enterprise mainly through the seaport.

The weight of the coil increases from 10 tons to 17 tons, and in the future up to 27 tons, while improving the quality of coiling and reducing the risk of product damage during its further transportation by sea vessels. This will satisfy the needs of customers for heavier and higher quality rolled steel products.

The dependence of the change in the weight and size characteristics of steel coils, which affects the change in the position of the center of gravity of the seagoing vessel, and therefore the control of the port reloading process, is determined. It has been established that an increase in the weight and size characteristics of steel coils leads to a decrease in the loading time of this cargo at the port and an increase in the stability of the vessel.

This study found that a change in the weight and size characteristics of steel coils leads to a change in the position of the center of gravity of the marine vessel.

Keywords: *seaport, transport, cargo, steel rolls, model, ship, loading, unloading.*

Рецензент: доктор техн. наук, проф. А. М. Берестовой

Статья поступила 26.10.2018

УДК 504.064.47

Дергаусов М. М.

ВОПРОСЫ ВЫДЕЛЕНИЯ ВРЕДНЫХ ВЕЩЕСТВ НА ТРАНСПОРТЕ

В работе представлены вопросы выделения вредных веществ на транспорте и, в частности, на морском транспорте т.к. данный вопрос является актуальным и требует постоянного контроля, исследований, разработки современных технологий по локализации и нейтрализации вредных веществ и технологии переработке отходов.

Город Мариуполь характеризуется двумя большими градообразующими составляющими - это металлургический и транспортный комплекс. В качестве объекта исследований был взят Государственный морской торговый порт Мариуполя (ГМТПМ).

Ключевые слова: *локализации и нейтрализации, вредные вещества, формализация, квантор общности, новые технологии, утилизация отходов.*

Как известно, г. Мариуполь характеризуется большими выделениями вредных веществ в Украине.

Эти вопросы являются актуальными и требуют постоянного контроля, исследований, разработки современных технологий по локализации и нейтрализации вредных веществ и по работе с отходами [1].

Г. Мариуполь характеризуется двумя большими градообразующими составляющими - это металлургический и транспортный комплекс.

Математическую составляющую выделения вредных веществ на транспорте представим в виде баланса экосистемы S_{bb} (между источниками вредных веществ Q_i и восстановителями баланса экосистемы M_j).

$$\{Q_i\} = \{M_j\} \quad (1)$$

Состояние экосистемы, сложившееся на сегодняшний день, в математическом формализованном виде можно представить формулой (2).

$$\sum_{j=1}^n (x_{ij} + y_{ij}) > (n_{ij} + m_{ij}), \quad (2)$$

где: x - транспорт, перевозка, переработка груза ; y – перегрузка и складирование, обслуживание транспорта, автобаза порта, погрузчики; $\{m\}$ - разработка мало-отходных и безотходных технологий; $\{n\}$ - разработка средств и способов локализации и нейтрализации вредных веществ, утилизация отходов.

Предлагается балансовая зависимость в виде теории множеств:

$$\forall S_{bb} \subseteq \{Q_i, M_j\}, \quad (3)$$

где экосистема S_{bb} в формальном виде представлена как квантор общности множества источников образования вредных веществ и восстановителя путем разработки средств локализации и нейтрализации вредных веществ, утилизации отходов, а в перспективе - создание безотходных и малоотходных технологий.

В свою очередь, остановимся подробнее на основных источниках вредных веществ на транспортном комплексе Q_i .

В качестве объекта исследований возьмем Государственный морской торговый порт Мариуполя (ГМТПМ).

В общем виде $i^{ая}$ технология переработки груза - это восьмёрка:

$$\forall Q_i \subseteq \{x_{ij}, z_{ij}, r_{ij}, p_{ij}, q_{ij}, g_{ij}, o_{ij}, v_{ij}\} \quad (4)$$

где x_{ij} – транспортные средства, техника, участвующие в переработке;

z_{ij} – россыпь навалочного груза и утилизация отходов и разработка новых технологий;

r_{ij} – риски;

p_{ij} – источники выброса на производстве (БВМ, автобаза порта, ЦРММ, РСУ, портофлот) ;

q_{ij} – источники выброса в атмосферу (котельные, мастерские);

o_{ij} – отходы, технологии по утилизации отходов, приёмка льяльных вод;

v_{ij} – направление ветра, и другие погодные условия влияющие на направление пыли и других вредных веществ;

В свою очередь:

$$\forall x_{ij} \subseteq \{t_{ij}, a_{ij}, b_{ij}, c_{ij}\} \quad (5)$$

где t_{ij} – переработка железнодорожного транспорта с работой тепловозов;

a_{ij} – переработка автотранспортных средств, трейлеров, автомобилей автобазы порта и т.д.;

b_{ij} – переработка грузов с барж и речных судов;

c_{ij} – переработка грузов с прямых и тыловых складов.

В свою очередь:

$$\forall z_{ij} \subseteq \{ d_{ij}, e_{ij} \} \quad (6)$$

где: d_{ij} – переработка навалочных грузов: образуемая россыпь вредных веществ, в частности пыль при переработке серы, утилизируют в виде образования водного аэрозоля (при перегрузке серы применялись системы пылеподавления над вагоном и трюмом судна);

e_{ij} – переработка навалочного груза угля: образуется угольная пыль, которую утилизируют по новой технологии по брикетированию угля и дальнейшего применения брикетов в народном хозяйстве.

В свою очередь:

$$\forall r_{ij} \subseteq \{ Id, Ok, Uz, Hr \} \quad (7)$$

где Id - идентификация опасности (вредности и какие факторы, при каких уровнях и путях воздействия, из каких сред могут вызвать неблагоприятные последствия для здоровья человека);

Ok - оценка экспозиции (характеристика источников загрязнения, маршрутов движения загрязняющих веществ от источника к человеку, пути и точки воздействия, уровни экспозиции и др.);

Uz - установление зависимости «доза - ответ» (выявление связи между состоянием здоровья, например, долей лиц, у которых развилось определенное заболевание, и уровнями экспозиции);

Hr - характеристика риска (анализ всех полученных данных, расчетов рисков для популяции и ее отдельных подгрупп, сравнение рисков с допустимыми (приемлемыми) уровнями, сравнительная оценка и ранжирование различных рисков);

Таким образом, отходы представляются как тройка:

$$\forall o_{ij} \subseteq \{ f_{ij}, h_{ij}, l_{ij} \} \quad (8)$$

где: f_{ij} – сортировка отходов по 4^М фракциям (4 разных контейнера), для применение отдельных технологий по переработке и утилизации в целом;

h_{ij} – переработка пищевых отходов с иностранных судов согласно предписаний санитарно-эпидемиологических правил [2], в специальных печах при температуре более 1000°С - при вращении и перемешивании пищевые отходы полностью превращаются в пыль.

Цель - непопадания инфекций и вирусов на территорию Украины.

l_{ij} – переработка льяльных вод с наших и иностранных судов, разработка технологий по отделению нефтепродуктов, в частности, превращение в мазут, который в дальнейшем используется в котельных порта, а очищенная вода после проверки и всестороннего контроля сливается в акваторию порта.

ВЫВОДЫ

1. Исследования позволяют представить в формализованном виде формул (1-8) все переменные, которые связаны с основными источниками вредных веществ на транспортном комплексе Q_i , и предлагаются пути решения задач порта.

Транспортні технології

2. Предложены новые технологии по разработке средств локализации и нейтрализации вредных веществ на транспорте, а в перспективе - создание малоотходных технологий.

3. Новые технологии и разработки можно внедрять и в других портах Украины.

Список использованных источников:

1. *Літвінов, О. П.* Динаміка розвитку транспортного менеджменту і логістики / *О. П. Літвінов, Ю. В. Логвінов* // Наукові праці МАУП. – Київ, 2016. – Вип. 50 (3-2016). – С. 110–114.

2. Про Основні засади (стратегію) державної екологічної політики України на період до 2020 року [Електронний ресурс] : Закон України 21 грудня 2010 р. № 2818-VI // Відомості Верховної Ради (ВВР). – 2011. – № 26. – Ст. 218. – Режим доступу: <http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2818-17>

Дергаусов М. М.

ПИТАННЯ ВИДІЛЕННЯ ШКІДЛИВИХ РЕЧОВИН НА ТРАНСПОРТІ

У роботі представлені питання виділення шкідливих речовин на транспорті зокрема морський транспорт є актуальними і вимагають постійного контролю, досліджень, розробки сучасних технологій по локалізації і нейтралізації шкідливих речовин і технології переробці відходів. Місто Маріуполь характеризується двома великими градоутворювальними складовими - це металургійний і транспортний комплекс.

В якості об'єкту досліджень було взято Державний морський торговий порт Маріуполя (ГМТПМ). Наводиться математична постановка завдання по виділенню шкідливих речовин на транспорті з використанням теорії великих кількостей. Основна мета досліджень являється - відновлення екосистеми системні дослідження основних змінних які утворюють шкідливі речовини на морському транспорті зокрема при перевантаженні вантажів в порту і розробка технологій і засобів локалізації і нейтралізації шкідливих речовин, утилізації відходів, а в перспективі - створення безвідходних і маловідхідних технологій.

Детально представлені приклади засобів локалізації і нейтралізації шкідливих речовин, утилізації відходів, при переробці сірки і вугілля. Детально у формалізованому виді представлені мало досліджені питання ризиків, основні чинники впливають на ці процеси. Дослідження дозволяють представити у формалізованому виді формул (1-8) усі змінні, які пов'язані з основними джерелами шкідливих речовин на транспортному комплексі Q_i , і пропонуються шляхи рішення завдань порту. Нові технології і розробки можна впроваджувати і в інших портах України.

Ключові слова: локалізації і нейтралізації, шкідливі речовини, формалізація, квантор спільності, нові технології, утилізація відходів.

QUESTIONS OF SECRETING OF HARMFUL SUBSTANCES ON TRANSPORT

The questions of secreting of harmful substances are in-process presented on a transport are actual and require permanent control, researches, developments of modern technologies on localization and neutralization of harmful substances and technology to processing of wastes.

A city Mariupol is characterized two large градообразующими constituents is a metallurgical and transport complex.

As an object of researches we will take State marine trade port of Mariupol. The mathematical raising over of task is brought on secreting of harmful substances on a transport with the use of theory of sets.

A primary purpose of researches is renewal of ecosystem, system researches of basic variables that form harmful substances on a marine transport in particular at the overload of loads in port and development of technologies and facilities of localization and neutralization of harmful substances, utilization of wastes, and in a prospect is creation of nonwestern and technologies.

The examples of facilities of localization and neutralization of harmful substances, utilization of wastes are presented in detail, at processing of sulphur and coal.

In detail the small investigational questions of risks are presented in a formalization kind, basic factors influencing on these processes.

Researches allow to present in the formalization type of formulas (1-8) all variables that is related to the basic sources of harmful substances on a transport complex Q_i , and the ways of decision of tasks of port are offered.

NT and developments can be inculcated and in other ports of Ukraine.

Keywords: *localizations and neutralizations, harmful substances, formalization, quantifier of community, NT, utilization of wastes.*

Рецензент: д-р техн. наук, проф. В. В. Чигарев

Статья поступила 01.11.2018 г.

УДК 656.05

Сенатосенко В. А.

ПОВЫШЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ ДВИЖЕНИЯ ПРИ РАЗРАБОТКЕ КОЛИЧЕСТВЕННОЙ ОЦЕНКИ ПОТЕНЦИАЛЬНОЙ КОНФЛИКТНОСТИ ТРАНСПОРТНЫХ ПОТОКОВ НА ПЕРЕКРЕСТКЕ

В статье рассмотрены исследования метода комплексной оценки режимов светофорного регулирования на перекрестках улично-дорожной сети, учитывающего схемы организация дорожного движения, параметры дорожного движения и условия распределения транспортных потоков согласно выбранному критерию для совершенствования технологии управления на перекрестках. Достигнутые результаты подтверждают высокую эффективность внедрения современных автоматических систем управления дорожным движением. Кроме того, исходя из технологических возможностей современной аппаратуры, задача оптимизации режимов управления можно решить на этапе проектирования, что, безусловно, повысит также и экономический эффект.

Основой для создания методов расчета оптимальных управляющих воздействий при регулировании дорожного движения является использование методов математического моделирования транспортных потоков на улично-дорожной сети. Некоторые методы не

Транспортні технології

учитывают некоторые показатели безопасности движения, например, степень конфликтности транспортных средств, а также его весовую оценку, на основании которой возникает возможность оптимизации управляющих воздействий на регулируемом перекрестке.

Создание методики выбора оптимальных методов управления транспортными потоками на перекрестке является сложным и необходимой задачей. Опираясь на проведенные исследования, изложенные выше, предлагается составить алгоритм выбора оптимальных управляющих воздействий на перекрестке.

Первым шагом должно быть определение исходных данных. Исходными данными для определения оптимальных режимов светофорного регулирования – это тип перекрестка; интенсивность движения транспортных средств на перекрестке.

Интенсивности движения транспортных средств на перекрестке определяются экспериментальными методами по всем направлениям на перекрестке за определенный промежуток времени.

Разработка методики, которая позволит, с одной стороны, оценить уровень организации дорожного движения на перекрестке улично-дорожной сети при заданном режиме управления с точки зрения безопасности движения, причем по любому из направлений; а с другой - осуществить выбор принципа управления, оптимизацию режимов светофорного регулирования.

Ключевые слова: дорожные условия, транспортные потоки, организация дорожного движения, светофорное регулирование, критерий оптимизации, перекресток, полоса движения.

Постановка задачи. На безопасность дорожного движения оказывает влияние множество факторов как объективных (конструктивные параметры и состояние дороги, интенсивность движения транспортных средств и пешеходов, обустройство дорог сооружениями и средствами регулирования, время года, суток), так и субъективных (состояние водителей и пешеходов, нарушение ими установленных правил). Таким образом, на дорогах существует сложная динамическая система, включающая в себя совокупность элементов «человек», «автомобиль», «дорога», функционирующих в определенной среде. Эти элементы дорожно-транспортной системы находятся в отношениях и связях друг с другом и образуют определенную целостность.

На сегодняшнее время существует ряд различных методик, позволяющих рассчитать эффективность внедрения мероприятий по обеспечению безопасности дорожного движения (БДД). Однако при их изучении было установлено, что указанные методики учитывают в основном мероприятия, предусматривающие капитальные вложения. При существующем финансировании дорожной отрасли большая часть этих мероприятий остается не реализованной.

Анализ состояния безопасности дорожного движения транспорта за продолжительный период времени свидетельствует, что подавляющее большинство аварийных ситуаций происходит из-за ошибок, просчетов и других негативных проявлений со стороны человека, участвующего в дорожном движении. На основе такого рода анализа разработаны правила, инструкции и технологические процессы, неукоснительное выполнение которых позволяет осуществлять перевозки без дорожно-транспортных происшествий (ДТП). К сожалению, сам факт наличия правил не является панацеей от происшествий. С одной стороны, ни один здравомыслящий человек, чья деятельность связана с движением транспортных средств, не желает нарушать правила и допускать брак в работе, подвергая свою жизнь, жизнь пассажиров, окружающих людей и среду опасности. И в то же время человеческие ошибки неизбежны. С ними надо бороться и делать всё

необходимое и возможное, чтобы предупредить их. Несмотря на очевидность этой задачи, необходима её постоянная чёткая формулировка и декларирование. Нередко возникает желание для достижения этой цели ввести такие элементы юридического характера, как понятие вины и ответственности. Заслонять этими понятиями главное - это означает ставить под сомнение эффективность усилий по предотвращению происшествий [1].

Безопасность движения закладывается ещё на этапе разработки конструкции технических средств, в том числе и транспорта, тогда, когда в этих конструкциях создаётся необходимый запас прочности. Человек создаёт технические средства, подбирая необходимый материал и разрабатывая технологию производства, человек осуществляет эксплуатацию и планомерно-предупредительный ремонт этой техники, осуществляет меры по модернизации и своевременной замене устаревших технических средств.

Таким образом, наряду с составляющей, определяемой как собственно процесс управления перевозками, существенным является факт создания и эксплуатации технических средств и сооружений. Может быть, в меньшей степени, но зависимость существует и от состояния окружающей среды: туман, дождь, снегопад, мороз и т.п. Происшествия практически не бывают следствием какой-либо отдельной причины. Обычно они происходят в результате взаимосвязи нескольких разных причин. Взятые по отдельности, эти причины могут показаться несущественными, но в совокупности с другими они способны составить последовательность внешне не связанных друг с другом событий, которые приводят к ДТП. Отсюда следует, что при расследовании происшествий главное внимание должно быть уделено системному анализу первопричин аварийной ситуации.

Анализ последних исследований и публикаций. Основой для анализа исследований в области безопасности дорожного движения стали теоретические и практические труды отечественных и зарубежных ученых в числе которых В. Ф. Бабков, А. В. Бусел, А. П. Васильев, Д. В. Капский, И. Клиновштейн, Ю. А. Кременец, М. М. Поздняков, В. П. Полищук, Е. Д. Прусенко, И. М. Пугачев, В. В. Сильянова, В. В. Столяров, В. В. Ушаков, Я. В. Хомяк, С. Цупиков и многих других специалистов [2-5].

В настоящее время оценка сложности перекрестка чаще всего осуществляется по количеству конфликтных ситуаций, возникающих в зоне перекрестка, так называемым методом конфликтных точек, предложенным в 60-х годах Раппопортом Г. и дополненным проф. Фишельсоном М. С. [5]. Конфликтные точки на перекрестках классифицируются по трем видам: точки пересечения, слива и отклонения. Такая классификация охватывает почти все виды конфликтов транспорта, но для оценки опасности перекрестка в целом необходимо учитывать и другие условия, а именно: углы пересечения, геометрические параметры перекрестка, интенсивность возникновения маневров и прочее.

Цель исследования. Целью статьи является разработка количественной оценки потенциальной конфликтности транспортных потоков на перекрестке.

Основной материал исследования. Первым шагом на пути к оптимизации режимов светофорного регулирования (СФР) должна быть оценка степени принципиальной конфликтности каждого перекрестка. Определение «веса» конфликтных ситуаций на перекрестке (степени конфликтности) позволит подвести аналитическую базу под выбор числа фаз, схем пофазного разъезда, порядка чередования фаз [2].

Для решения данной задачи предлагается формализовать и систематизировать массив данных, характеризующий схему организации дорожного движения (ОДД) на перекрестке, в виде матрицы направлений, которая отражала возможности выполнения отдельных маневров с одной стороны, и степень конфликтности одновременного выполнения нескольких маневров (в фазе) - с другой. Остановимся на примере простого четырехстороннего перекрестка (рисунок 1).

Транспортні технології

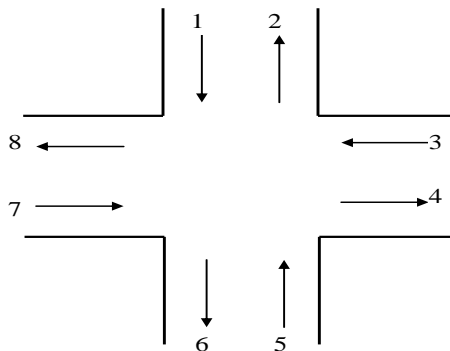


Рисунок 1 – Схема ОДД перекрестка

Обозначим входные направления нечетными цифрами, а выходные парными по часовой стрелке. Теперь построим матрицу 4x4, колонки, которой отмечаются номерами входящих направлений, а строки - номерами выходных направлений (рисунок 2). Таким образом, каждая ячейка будет соответствовать одному из маневров на перекрестке. В дальнейшем для удобства работы введем обозначения маневров, которые выполняют транспортные средства на перекрестке: Р - разворот, П - прямо, Л -налево, R –направо

	2	4	6	8
1	Р	Л	П	Р
3	Р	Р	Л	П
5	П	Р	Р	Л
7	Л	П	Р	Р

Рисунок 2 – Матрица направлений перекрестка

Например, ячейка 1 - 2 - обозначает маневр транспортного средства по направлению 1 в направление 2, что, исходя из рисунка 2.1, является разворотом. Необходимо заметить, что при таком отображении каждый маневр займет свою диагональ, то есть матрица имеет симметричный вид, удобный для математического описания. Кроме того, каждая ячейка матрицы является своего рода «визитной карточкой» соответствующего маневра.

Рассмотренный пример простого пересечения необходим для выявления сути метода, так как на практике сложности в ОДД возникают, как правило, на пересечении дорог с двумя и более полосами движения (в одном направлении). Поэтому рассмотрим матрицы для более сложных перекрестков. Для дорог с 4-мя полосами движения (рисунок 3).

Транспортні технології

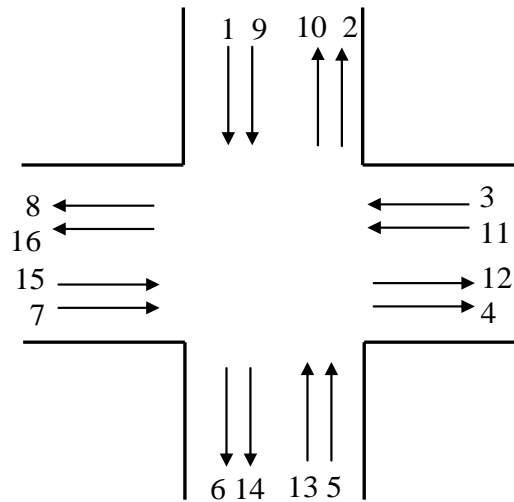


Рисунок 3 – Схема перекрестка с 4-мя полосами

Нумеруем направления по кругу по часовой стрелке. Аналогично вышеизложенным методом построим матрицу маневров (рисунок 4).

	2	4	6	8	10	12	14	16
1	Р	Л	П	Р	Р	Л	П	Р
3	Р	Р	Л	П	Р	Р	Л	П
5	П	Р	Р	Л	П	Р	Р	Л
7	Л	П	Р	Р	Л	П	Р	Р
9	Р	Л	П	Р	Р	Л	П	Р
11	Р	Р	Л	П	Р	Р	Л	П
13	П	Р	Р	Л	П	Р	Р	Л
15	л	П	Р	Р	Л	П	Р	Р

Рисунок 4 – Матрица перекрестка с 4-мя полосами

Таким образом, если построить предложенным методом матрицу конкретного перекрестка, то возникает возможность с ее помощью в дальнейшем работать с каждым видом управляющих воздействий на транспортный поток любого направления этого перекрестка.

Для достижения цели данного анализа использовались данные только тех ДТП, в которых участвовали два транспортных средства. Такой вид ДТП был зарегистрирован в 81 % случаев от общего количества ДТП. Исходя из этих показателей, предлагается к рассмотрению 15 схем столкновения транспортных средств, которые могут возникать на четырехсторонних перекрестках улично-дорожной сети города (рисунок 5).

Анализ статистических данных, полученных в результате проведенных исследований, показал, что почти 83 % ДТП возникают по схемам 1, 2, 4, 6 (таблица 2. 1, рисунок 6).

Разница между схемами ДТП № 1 и № 2 заключается в том, что согласно схеме № 2 столкновения транспортных средств происходит в зоне перекрестка, а согласно схеме № 1 - на подходе к этому перекрестку.

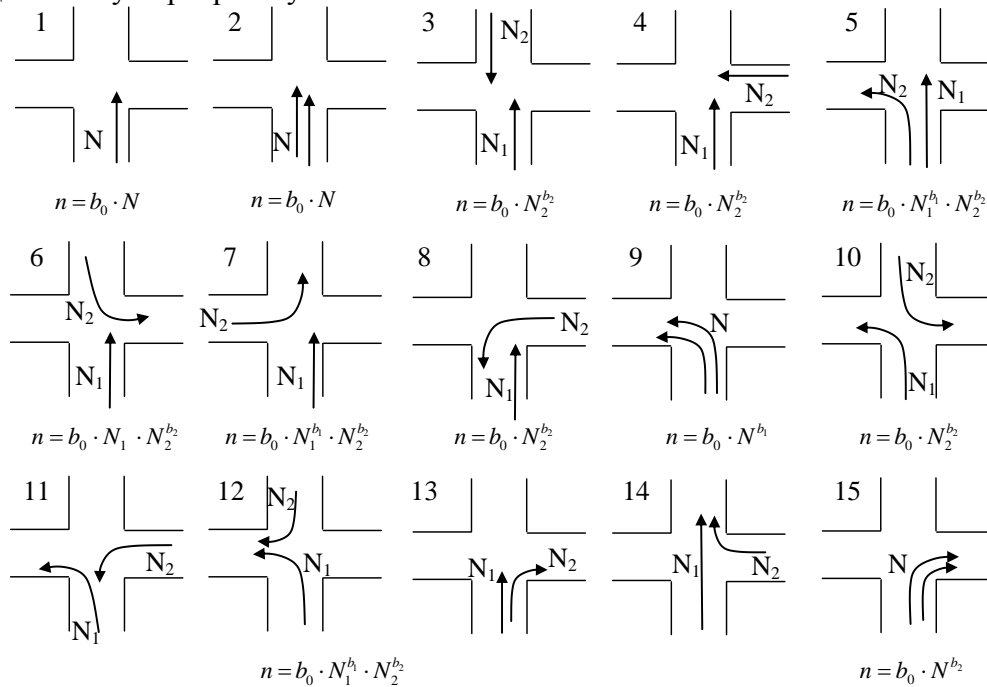


Рисунок 5 – Схемы конфликтных ситуаций и уравнения, соответствующие данным схемам

Таблица 1 – Количество ДТП по схемам 1-15

Номер схемы	Количество ДТП
1	538
2	192
3	12
4	258
5	47
6	729
7	42
8	32
9	29
10	2
11	7
12	22
13	73
14	80
15	16
Всего	2084

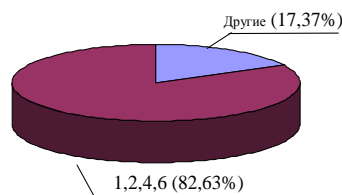


Рисунок 6 – Соотношение конфликтов

Также были проведены исследования по определению необходимых числовых коэффициентов, корректирующих показатель потенциально возможного количества ДТП.

Таблица 2 - Числовые коэффициенты схем конфликтных ситуаций

№ схеми	b_0	b_1	b_2	№ схеми	b_0	b_1	b_2
1	$0,1655 \cdot 10^{-6}$	-	-	9	$6,9815 \cdot 10^{-9}$	1,4892	-
2	$0,1014 \cdot 10^{-6}$	-	-	10	$5,590 \cdot 10^{-12}$	-	2,7862
3	$8,6129 \cdot 10^{-9}$	-	1,0682	11	$1,3012 \cdot 10^{-9}$	1,1432	0,4353
4	$8,1296 \cdot 10^{-6}$	-	0,3662	12	$0,0106 \cdot 10^{-6}$	0,6135	0,7858
5	$0,3449 \cdot 10^{-6}$	0,1363	0,6013	13	$0,4846 \cdot 10^{-6}$	0,2769	0,4479
6	$0,0418 \cdot 10^{-6}$	-	0,4634	14	$1,7741 \cdot 10^{-9}$	1,1121	0,5467
7	$0,2113 \cdot 10^{-6}$	0,3468	0,4091	15	$0,5355 \cdot 10^{-6}$	0,4610	-
8	$0,2113 \cdot 10^{-6}$	-	0,2476	-	-	-	-

С помощью выше изложенного метода более подробно проведем исследования конкретного перекрестка. Схема перекрестка приведена на рис 7.

Определив экспериментально интенсивности движения автомобилей по каждой полосе движения, во всех направлениях построим матрицы маневров и интенсивностей движения для данного перекрестка (рисунок 8 а, б).

Отметим, что в матрицах, построенных на рисунках 8 (а, б), заполнены лишь ячейки, которые соответствуют реально возможным маневрам транспортных средств на этом перекрестке (более подробно отмечалось выше). Поэтому определение весовых коэффициентов маневров будем проводить только для этих ячеек.

Транспортні технології

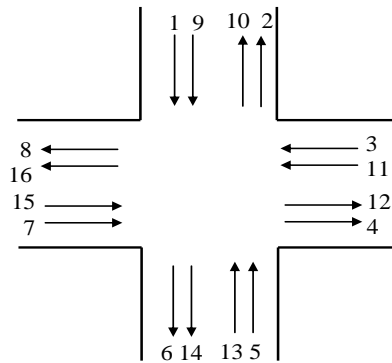


Рисунок 7 – Схема ОДД перехрестка

	2	4	6	8	10	12	14	16
1			П	Р				
3	Р			П				
5	П	Р						
7		П	Р					
9					Р	Л	П	
11						Р	Л	П
13					П		Р	Л
15					Л	П		Р

а)

	2	4	6	8	10	12	14	16
1			595	17				
3	56			610				
5	315	50						
7		690	288					
9						120	255	
11							41	259
13						135		96
15						59	296	

б)

Рисунок 8 – Матриці напрямлений и интенсивностей перехрестка

Рассмотрим ячейку 1-6, которой соответствует маневр «движение прямо». Схеме для осуществления этого маневра соответствует рисунок 8. Для определения потенциально возможного количества ДТП по каждой из схем, которые возникают при осуществлении данного маневра, в уравнение подставим числовые значения интенсивностей движения транспортных средств, определенных экспериментальным методом, (рисунок 8 б) и значения коэффициентов согласно таблице 2.

В результате этого должен получиться весовой показатель каждой конфликтной ситуации, которая может возникнуть при осуществлении транспортным средством маневра «движение прямо» на предложенном перехрестке.

$$1 \quad n = 0.2052 \cdot 10^{-6} \times 595 = 1.22094 \cdot 10^{-4};$$

$$2 \quad n = 0.1014 \cdot 10^{-6} \cdot 595 = 0.6188 \cdot 10^{-4};$$

$$3 \quad n = 8.6129 \cdot 10^{-6} \cdot 595^{1.0682} = 0.079 \cdot 10^{-4};$$

$$4 \quad n = 8.1296 \cdot 10^{-6} \cdot 986^{0.3662} = 1.0149 \cdot 10^{-4};$$

$$4' \quad n = 8.1296 \cdot 10^{-6} \cdot 869^{0.3662} = 0.969 \cdot 10^{-4};$$

$$5 \quad n = 0.3449 \cdot 10^{-6} \cdot 595^{0.1363} = 0^{0.6013} = 0;$$

$$6 \quad n = 0.0418 \cdot 10^{-6} \cdot 595 \cdot 96^{0.4634} = 2.062 \cdot 10^{-4}; \tag{1}$$

Транспортні технології

$$7 \quad n = 0.2113 \cdot 10^{-6} \cdot 595^{0.3468} \cdot 0^{0.4091} = 0;$$

$$8 \quad n = 2.6792 \cdot 10^{-6} \cdot 595^{0.2476} = 0.0735 \cdot 10^{-4};$$

$$13 \quad n = 0.4846 \cdot 10^{-6} \cdot 595^{0.2769} \cdot 17^{0.4479} = 0.101 \cdot 10^{-4};$$

$$14 \quad n = 1.7741 \cdot 10^{-9} \cdot 595^{1.1121} \cdot 288^{0.5467} = 0.478 \cdot 10^{-4}.$$

В уравнениях (1) по схемам 3, 5 и 7 потенциально возможное количество ДТП по вычислениям равна нулю. Это объясняется тем, что один из множителей соответствующего математического уравнения соответствует осложненному маневру. После этого определим степень конфликтности маневра по направлению 1 в направлении 6.

$$1-6 \quad n_{\text{сум}} = 1.2209 \cdot 10^{-4} + 0.619 \cdot 10^{-4} + 0.079 \cdot 10^{-4} + 1.0149 \times 10^{-4} + 0.969 \times 10^{-4} + 2.062 \cdot 10^{-4} + 0.0735 \cdot 10^{-4} + 0.101 \cdot 10^{-4} + 0.478 \cdot 10^{-4} = 6.6174 \times 10^{-4}.$$

(2)

Таким образом, в ячейку матрицы 1-6 можно поставить ее весовой коэффициент - степень конфликтности соответствующего маневра. Аналогично проводятся расчеты для других клеток матрицы (3).

$$1-8 \quad n_{\text{сум}} = 0.2254 \cdot 10^{-4}; \quad 7-4 \quad n_{\text{сум}} = 6.6624 \cdot 10^{-4}; \quad 13-10 \quad n_{\text{сум}} = 3.6134 \cdot 10^{-4};$$

$$3-2 \quad n_{\text{сум}} = 0.5046 \cdot 10^{-4}; \quad 7-6 \quad n_{\text{сум}} = 0.6284 \cdot 10^{-4}; \quad 13-16 \quad n_{\text{сум}} = 2.6083 \cdot 10^{-4};$$

$$3-8 \quad n_{\text{сум}} = 6.3001 \cdot 10^{-4}; \quad 9-12 \quad n_{\text{сум}} = 2.1794 \cdot 10^{-4}; \quad 15-10 \quad n_{\text{сум}} = 2.6215 \times 10^{-4};$$

(3)

$$5-2 \quad n_{\text{сум}} = 3.9178 \cdot 10^{-4}; \quad 9-14 \quad n_{\text{сум}} = 3.9161 \cdot 10^{-4}; \quad 15-12 \quad n_{\text{сум}} = 4.2378 \cdot 10^{-4};$$

$$5-4 \quad n_{\text{сум}} = 0.3861 \cdot 10^{-4}; \quad 11-14 \quad n_{\text{сум}} = 2.5503 \cdot 10^{-4}; \quad 11-16 \quad n_{\text{сум}} = 4.5503 \cdot 10^{-4}.$$

После проведения всех расчетов можно построить матрицу весовых коэффициентов потенциальных конфликтов на данном перекрестке (рисунок 9).

	2	4	6	8	10	12	14	16
1			6,6174	0,2254				
3	0,5046			6,3001				
5	3,9178	0,3861						
7		6,6624	0,6284					
9						2,1794	3,9161	
11							2,5503	4,5503
13					3,6134			2,6083
15					2,3215	4,2378		

Рисунок 9 – Матрица весовых коэффициентов потенциальных конфликтов на перекрестке

Как известно, в мировой практике показатель безопасности движения (БД) исчисляется количеством ДТП в год. Поэтому для практического использования весовые коэффициенты матрицы желательно привести к виду - количество ДТП в год. Для этого нужно вычислить весовые коэффициенты для каждого промежутка времени суток и

полученные показатели умножить на количество дней в году. Этот большой объем работы выполняется с помощью ПЭВМ.

Таким образом, была получена матрица перекрестка с показателями БД при осуществлении возможных маневров транспортными средствами. В качестве критерия ОДД используется прогнозируемая величина - степень конфликтности (потенциально возможное количество ДТП за час в светлое время суток). Аналогичным образом рассчитываются весовые коэффициенты для других интервалов времени и строятся матрицы перекрестка.

ВЫВОДЫ

Исходя из вышеизложенного, возникла принципиальная возможность количественной оценки схемы ОДД с учетом показателей БД. Это позволит с помощью матрицы весовых коэффициентов определять:

- сложность перекрестка;
- пути совершенствования существующей схемы ОДД;
- обоснованно решать проблемы организации дорожного движения, связанные с выбором управляющих воздействий на транспортный поток.

Это может быть разрешение или запрет маневра, или выбор схем пофазного разъезда, потому, составив матрицы весовых коэффициентов каждого варианта, принципиально возможно выбрать оптимальный. Кроме этого, появляется возможность определить эффективность тех или иных методов ОДД на перекрестках (на стадии проектирования), что позволит сэкономить значительные финансовые средства.

Список использованных источников:

1. Дрю, Д. Теория транспортных потоков и управление ими / Д. Дрю. – М. : Транспорт, 1972. – 423 с.
2. Клинковиштейн, Г. И. Организация дорожного движения / Г. И. Клинковиштейн. – М. : Транспорт, 1981. – 240 с.
3. Коноплянко, В. И. Организация и безопасность дорожного движения / В. И. Коноплянко. – М. : Транспорт, 1991. – 183 с.
4. Кременец, Ю. А. Технические средства регулирования дорожного движения / Ю. А. Кременец, М. П. Печерский. – М. : Транспорт, 1981. – 252 с.
5. Фишельсон М. С. Городские пути сообщения / М. С. Фишельсон. – М. : Транспорт, 1980. – 292 с.

Сенатосенко В. А.

ПІДВИЩЕННЯ БЕЗПЕКИ РУХУ ПРИ РОЗРОБЦІ КІЛЬКІСНОЇ ОЦІНКИ ПОТЕНЦІЙНО КОНФЛІКТНИХ ТРАНСПОРТНИХ ПОТОКІВ НА ПЕРЕХРЕСТІ

У статті розглянуті дослідження методу комплексної оцінки режимів світлофорного регулювання на перехрестях вулично-дорожньої мережі, що враховує схеми організації дорожнього руху, параметри дорожнього руху і умови розподілу транспортних потоків відповідно до обраного критерію для вдосконалення технології управління на перехрестях. Досягнуті результати підтверджують високу ефективність впровадження сучасних автоматичних систем управління дорожнім рухом. Крім того, виходячи з технологічних можливостей сучасної апаратури, завдання оптимізації режимів управління можна вирішити на етапі проектування, що, безумовно, підвищить також і економічний ефект.

Основою для створення методів розрахунку оптимальних керуючих впливів при регулюванні дорожнього руху є використання методів математичного моделювання транспортних потоків на вулично-дорожньої мережі. Деякі методи не враховують деякі показники безпеки руху, наприклад

Транспортні технології

ступінь конфліктності транспортних засобів, а також його вагову оцінку, на підставі якої виникає можливість оптимізації керуючих впливів на регульованому перехресті.

Створення методики вибору оптимальних методів управління транспортними потоками на перехресті є складним і необхідним завданням. Спираючись на проведені дослідження, викладені вище, пропонується скласти алгоритм вибору оптимальних керуючих впливів на перехресті.

Першим кроком має бути визначення вихідних даних. Вихідними даними для визначення оптимальних режимів світлофорного регулювання це тип перехрестя; інтенсивність руху транспортних засобів на перехресті.

Інтенсивності руху транспортних засобів на перехресті визначаються експериментальними методами в усіх напрямках на перехресті за певний проміжок часу

Розробка методики, яка дозволить, з одного боку, оцінити рівень організації дорожнього руху на перехресті вулично-дорожньої мережі при заданому режимі управління з точки зору безпеки руху, причому по кожному з напрямків; а з іншого - здійснити вибір принципу управління, оптимізацію режимів світлофорного регулювання.

Senatosenko V.A.

INCREASE OF SAFETY OF MOVEMENT IN THE DEVELOPMENT OF QUANTITATIVE EVALUATION OF POTENTIAL CONFLICT OF TRANSPORT FLOWS AT THE CROSSROAD

The article describes the study of the method of integrated assessment of traffic light regulation at intersections of the road network, taking into account the organization of traffic patterns, traffic parameters and distribution conditions of traffic according to the selected criterion for improving control technology at intersections. The achieved results confirm the high efficiency of the introduction of modern automatic traffic control systems. In addition, based on the technological capabilities of modern equipment, the task of optimizing control modes can be solved at the design stage, which, of course, will also increase the economic effect.

The basis for creating methods for calculating optimal control actions in traffic control is the use of methods of mathematical modeling of traffic flows on the road network. Some methods do not take into account some indicators of traffic safety, for example, the degree of conflict of vehicles, as well as its weight assessment, on the basis of which it is possible to optimize control actions at a controlled intersection.

Creating a method of choosing the best methods of traffic management at a crossroads is a difficult and necessary task. Based on the studies outlined above, it is proposed to create an algorithm for selecting the optimal control actions at the intersection.

The first step is to determine the source data. The source data for determining the optimal modes of traffic light regulation is a type of intersection; the intensity of the movement of vehicles at the intersection.

The intensity of the movement of vehicles at the intersection is determined by experimental methods in all directions at the intersection for a certain period of time.

Development of a methodology that, on the one hand, will allow to assess the level of traffic organization at the intersection of the road network under a given control mode in terms of traffic safety, and in any of the directions; and on the other hand, to make the choice of the management principle, to optimize the traffic light regulation modes

Key words: road conditions, traffic flows, traffic management, traffic control, optimization criteria, intersection, modeling, lane movement.

Рецензент: доцент, канд. техн. наук Бурлакова Г. Ю.

Стаття надійшла 10.11.2018 р.

УДК 629.423

Воропай В. С.

О НАПРЯЖЁННОМ СОСТОЯНИИ ЭЛЕМЕНТОВ КОНСТРУКЦИИ КОНТЕЙНЕРА-ЦИСТЕРНЫ ДЛЯ НЕСИММЕТРИЧНОГО ДИМЕТИЛГИДРАЗИНА

В статье изложены основные положения методики проведения испытаний контейнеров-цистерн. Указаны способы и методы проведения испытаний при действии ударных нагрузок, предусмотренных действующими нормативными документами Украины и стран СНГ. Представлена разработанная схема расстановки тензорезисторов на различных элементах контейнеров-цистерн, приведены результаты испытаний контейнеров-цистерн. Показан порядок расчетов при обработке опытных данных. Приведены результаты соответствия прикладываемых нагрузок и механических напряжений до разрушения материала конструкции вагона-цистерны, а также выявлены зоны повышенных напряжений в основных элементах опытного образца контейнера-цистерны, которые не превысили допустимых напряжений. Приведенные результаты исследований могут служить основой для нормирования действующих на контейнер-цистерну нагрузок в условиях эксплуатации и проведения дальнейших исследований.

Ключевые слова: *контейнер-цистерна, несимметричный диметилгидразин, торцевая рама, испытания, механические напряжения, допускаемые напряжения, тензорезисторы, надёжность, предел текучести.*

Постановка проблемы. В сложных условиях все увеличивающегося грузооборота, эксплуатации транспортных средств сверх назначенного срока службы, попыток выхода Украины на уровень экономически развитых стран требования по обеспечению безопасности движения и надёжности подвижного состава железных дорог ужесточаются и актуальность проведения технического диагностирования и высокоточного обоснования научно-технических результатов возрастает. С надёжностью технических средств железнодорожного транспорта тесно связана пропускная и провозная способность железных дорог. Повышение скоростей движения грузовых и пассажирских поездов, увеличение осевых нагрузок вагонов, рост интенсивности их использования влияют на техническое состояние вагона, на его надёжность, которая, в конечном итоге, определяет такие важные показатели работы железнодорожного транспорта, как выполнение планов пассажирских перевозок, объёма грузооборота.

К особой группе железнодорожных вагонов следует отнести специализированный подвижной состав для перевозки опасных грузов, среди них – контейнеры-цистерны для обеспечения ракетно-космических полигонов несимметричным диметилгидразином - высокотоксичным топливом, которое является сильнодействующим ядом. На сегодняшний день потребность в подвижном составе для перевозки подобного рода груза обусловлена стремительным высокотехнологичным развитием ракетно-технической промышленности России, США, Китая и ряда других стран. Подвижной состав должен отвечать всем требованиям, предъявляемым к перевозочному процессу опасных грузов.

Процесс и результаты технического диагностирования продукции вагоностроения сегодня является отправным пунктом для выпуска конкурентоспособных вагонов нового поколения, поскольку вновь создаваемые вагоны подвергаются предварительным испытаниям в испытательных центрах и цель этих испытаний – проверка соответствия опытного образца вагона техническим условиям, нормативной документации, а также решение вопроса о

возможности представления тележки на другие виды испытаний. То есть, вагон пройдет сложный путь обоснования целесообразности своего конструктивного исполнения до того, как будет позволен выход в эксплуатацию. Поэтому весьма важным является генерирование методик оценки прочности элементов вагонов и этот факт обусловлен разностью подходов к определению объема испытаний и связанных с ним времени проведения, выбору аппаратуры, компьютерных программ.

Анализ выполненных исследований и публикаций.

Большой вклад в развитие и создание прогрессивных конструкций вагонов внесли коллективы научно-исследовательских организаций, высших учебных заведений и вагоностроительных заводов, в том числе: Украинского научно-исследовательского института вагоностроения, Днепропетровского национального и Украинского государственного университетов железнодорожного транспорта, Государственного экономико-технологического университета транспорта, филиала «Научно-исследовательский конструкторско-технологический институт железнодорожного транспорта» ПАТ «Укрзалізниця», Московского и Петербургского университетов путей сообщения, Белорусского государственного университета транспорта, Брянского государственного технического университета, Всероссийского научно-исследовательского института железнодорожного транспорта, вагоностроительных заводов (Крюковского, Уральского, «Азовмаша», «Днепровагонмаша» и др.).

Теоретическими основами расчетов, проектирования и испытаний грузовых вагонов являются исследования П. С. Анисимова, Е. П. Блохина, С. В. Вершинского, В. Н. Котуранова, Л. Н. Никольского, Е. Н. Никольского, В. Ф. Ушкалова, В. Д. Хусидова, Л. А. Шадура, А. А. Битюцкого, Г. И. Богомаза, Ю. П. Бороненко, В. М. Бубнова, Н. И. Горбунова, А. П. Горбенко, С. Г. Грищенко, А. В. Донченко, Ю. В. Демина, М. Б. Кельриха, В. В. Кобищанова, В. Ф. Лапшина, И. Э. Мартынова, С. В. Мямлина, А. Д. Кочнова, А. В. Пигунова, В. В. Пигунова, В. С. Плоткина, А. Л. Пулария, А. В. Путято, А. А. Радзиховского, Г. В. Рейдемейстера, О. М. Савчука, А. Г. Рейдемейстера, А. В. Смольянинова, М. М. Соколова, А. М. Соколова, А. Ю. Черняк и др. [1,2,3,4].

Целью работы, как научного исследования, является оценка напряжённого состояния элементов конструкции контейнеров-цистерн для несимметричного диметилгидразина 2Г150 модели 8508.

Изложение основного материала.

Контейнеры-цистерны в условиях эксплуатации подвергаются сложному спектру нагрузок, перечень которых указан в [3], возникающих в процессе погрузки, перевозки и выгрузки грузов. Учитывая сложность анализа указанных факторов, особенно при действии ударных нагрузок при погрузке и выгрузке грузов, на первом этапе решения задачи оценки прочности и надежности различных конструкторских исполнений контейнеров-цистерн было принято решение о проведении их натуральных испытаний с учётом требований, предусмотренных действующими в настоящее время нормативными документами [2,3,4].

В соответствии с положительными результатами статических испытаний на прочность [5], контейнер-цистерна для несимметричного диметилгидразина 2Г150 модели 8508 была представлена на испытания на прочность при соударении.

Целью испытаний на прочность при соударении являлось исследование и оценка напряженного состояния и проверка прочности конструкции контейнера-цистерны при действии нормируемых ударных нагрузок. Допускаемые напряжения для элементов конструкции контейнера-цистерны при режиме соударения приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Материалы элементов конструкции контейнеров-цистерн для несимметричного диметилгидразина 2Г150 модели 8508 и допускаемые в них напряжения

Наименование узлов и элементов крышки, применяемый материал	Предел текучести, σ_m , МПа	Допускаемые напряжения, $[\sigma]$, МПа
Цистерна – Сталь 12Х18Н10Т ГОСТ 5632-72	235	235
Торцевые рамы и элементы их крепления – Сталь 09Г2С ГОСТ 19281-89	345	345

Методика, которая применялась при оценке напряжённого состояния элементов конструкции контейнера-цистерны до и после замены торцевой рамы и элементов ее крепления, включала в себя следующее:

1) испытаниям на прочность при соударении подвергался контейнер-цистерна, нагруженный до осевой нагрузки 25 тс, стоящий в подпоре и свободностоящий на расстоянии 1,0 - 1,5 м от подпора (рисунок 1);

2) соударения производились со скоростями от 3,78 км/ч до скорости 11,43 км/ч. При этом максимальная сила удара составила 4,139 МН (413,9 т). В интервалах скоростей до 6 км/ч, от 6 до 10 км/ч и свыше 10 км/ч было проведено не менее 7 соударений в каждом интервале. С максимальной ударной нагрузкой было произведено пять соударений;

3) в процессе испытаний велось наблюдение за состоянием конструкции контейнера-цистерны (отсутствие видимых деформаций, трещин). После достижения усилия соударения 2,5 МН осмотр производился после каждого соударения. После разупрочнения материала конструкции в районе углового фитинга (рисунок 2) испытания были прекращены;

4) измерение деформаций при испытаниях на прочность при соударении производилась в точках, определенных по результатам статических испытаний на прочность, результаты этих испытаний являются интеллектуальной собственностью испытательного центра и содержатся в соответствующей отчетной документации;

5) при испытаниях на прочность при соударении обработка результатов выполнялась методом максимальных значений амплитуд. Значение амплитуды умножалось на масштаб - m , МПа/мВ, определенный градуировкой по формуле [5]:

$$m = \frac{R_o \cdot E}{R_{ш} \cdot A_{ш} \cdot K} \quad (1)$$

где: R_o - сопротивление тензорезистора, Ом;

E - модуль упругости, МПа;

$R_{ш}$ - сопротивление шунта, Ом;

$A_{ш}$ - величина разбаланса измерительной схемы шунтирующим сопротивлением, мВ;

K - коэффициент тензочувствительности тензорезистора.



Рисунок 1 – Схема расположения вагонов при испытаниях



Рисунок 2 – Зона потери прочности угловых фитингов контейнера-цистерны

При испытаниях на прочность при соударении учитывались напряжения от действия вертикальной статической нагрузки $Q_{\sigma p1} - \sigma_{\sigma p1}$, МПа и напряжения, возникающие при ударе в автосцепку с силой 3,5 МН - $\sigma_{y\delta N=3,5}$, МПа. При этом режиме суммарные напряжения - $\Sigma\sigma_{y\delta}$, МПа, составляют [6,7]:

$$\Sigma\sigma_{y\delta} = \sigma_{\sigma p1} + \sigma_{y\delta N=3,5} \leq \sigma_m \quad (2)$$

Оценка напряженного состояния элементов конструкции тележки производилась путем сравнения величин суммарных напряжений - $\Sigma\sigma_{y\delta}$, МПа с допускаемыми напряжениями, приведенными в таблице 1, а также по результатам визуального контроля.

В первом случае в результате испытаний контейнера-цистерны конструкция в районе угловых фитингов не выдержала испытательных нагрузок и произошла потеря прочности (рисунок 2). При скорости набегания вагона-бойка в 11 км/ч и при усилии соударения в 325 тс эквивалентные напряжения составили 375 Мпа в зоне сечения II-II (III-III), тензодатчик 12 (схема расстановки тензодатчиков при проведении испытаний приведена на рисунке 3). После негативного результата испытаний торцевые рамы и элементы их крепления были заменены на предыдущий вариант конструкции, ранее серийно выпускаемый для контейнеров-цистерн модели 8508.

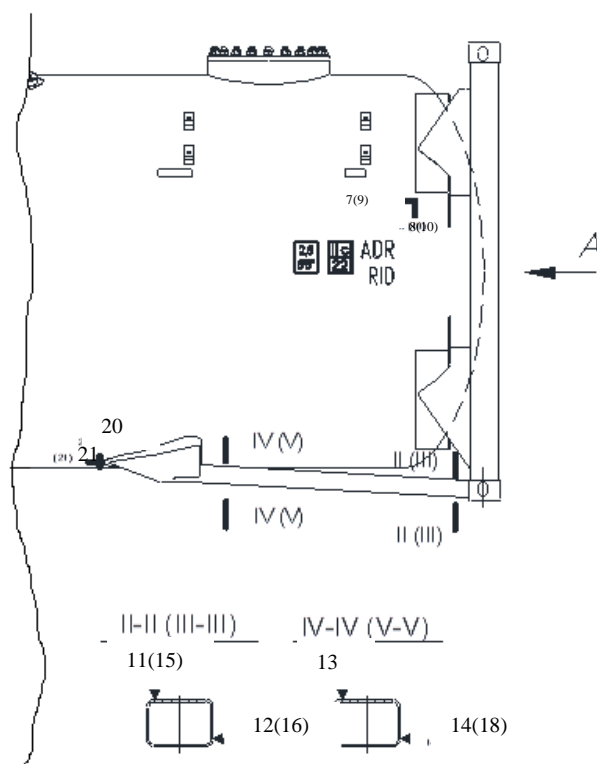


Рисунок 3 – Схема расстановки тензодатчиков при проведении испытаний

Результаты второго этапа испытаний после замены торцевой рамы и элементов их крепления показали следующее: при скорости набегания вагона-бойка в 11 км/ч и при усилии соударения в 300 тс эквивалентное напряжение составило 200 Мпа, при этом трещиноподобных дефектов не выявлено.

ВЫВОДЫ

1. Приведённая методика испытаний опытного образца контейнера-цистерны и их результаты показали, что новая конструкция торцевой рамы не соответствует требованиям надёжности в эксплуатации и при динамической нагрузке в 375 тс произошло разрушение материала.

2. Предложенный метод натурных исследований контейнеров-цистерн и получаемые при них результаты позволяют обосновывать устанавливаемые основные эксплуатационные показатели для данной конструкции контейнеров-цистерн и использовать эти опытные данные при создании новых конструкций.

Список использованных источников литературы

1. Конструирование и расчет вагонов: учеб. для вузов ж.-д. трансп. [Текст] / [В. В. Лукин [и др.]; под общ. ред. П. С. Анисимова]. – М. : УМК МПС России, 2011.– 688 с.
2. ДСТУ 7598-2014 Вантажні вагони. Загальні вимоги до розрахунків і проектування нових і модернізованих вагонів колії 1520 мм (несамохідних).
3. ГОСТ 33211-2014 Вагоны грузовые. Требования к прочности и динамическим качествам.

Транспортні технології

4. ГОСТ 33788-2016 Вагоны грузовые и пассажирские. Методы испытаний на прочность и динамические качества.

5. *Блохин, Е. П.* Расчет грузовых вагонов на прочность при ударах / *Е. П. Блохин, И. Г. Барбас, Л. А. Манашкин, О. М. Савчук; под ред. Е. П. Блохина.* – М. : Транспорт, 1988. – 380 с.

6. *Битюцкий, А. А.* Разработка комплексного метода проектирования, расчета и испытания грузовых вагонов : дис. ... д-ра техн. наук : 05.22.07 / *Битюцкий Александр Анатольевич.* – СПб., 1995. – 357 с.

7. *Фомін О. В.* Дослідження дефектів та пошкоджень несучих систем залізничних напіввагонів : монографія / *О. В. Фомін.* – Київ: ДЕТУТ, 2014. – 299 с.

Воропай В. С.

ПРО НАПРУЖЕНИЙ СТАН ЕЛЕМЕНТІВ КОНСТРУКЦІЇ КОНТЕЙНЕРА-ЦИСТЕРНИ ДЛЯ НЕСИМЕТРИЧНОГО ДИМЕТИЛГИДРАЗИНА

У статті увагу приділено особливій групі залізничних вагонів - спеціалізованому рухомому складу для перевезення небезпечних вантажів, - контейнерів-цистерн для забезпечення ракетно-космічних полігонів несиметричним диметилгідразинном. Обґрунтовано потребу в рухомому складі для перевезення подібного роду вантажу, яка обумовлена стрімким високотехнологічним розвитком ракетно-технічної промисловості Росії, США, Китаю і ряду інших країн. У статті викладені основні положення методики, яка застосовувалася при оцінці напруженого стану елементів конструкції контейнера-цистерни. Поставлені цілі і завдання проведення випробувань. Був проведений аналіз, який дозволив виявити найбільш схильні до виникнення дефекти і несправності елементів несучої конструкції контейнерів-цистерн, які виникають з причин: перевищення швидкості зіткнення вагонів при маневрових роботах і проходженні кривих; аварійні ситуації; порушення правил експлуатації при навантаженні і вивантаженні сипучих вантажів. Вказані способи і методи проведення випробувань при дії ударних навантажень, передбачених діючими нормативними документами України і країн СНД з урахуванням фізичних властивостей матеріалів, з яких складаються елементи конструкції контейнерів-цистерн для несиметричного диметилгідразину 2Г150 моделі 8508 і допустимі в них напруги. Представлена схема, що була розроблена спеціально для даних випробувань, розстановки тензорезисторів на різних елементах контейнерів-цистерн, наведені результати випробувань контейнерів-цистерн. Показаний порядок розрахунків при обробці дослідних даних. Наведено результати відповідності навантажень, що були докладені, і механічних напружень до руйнування матеріалу конструкції контейнера-цистерни, а також виявлені зони підвищених напружень в основних елементах дослідного зразка контейнера-цистерни, які не перевищили допустимих напружень. Опубліковані результати випробувань торцевої рами нової конструкції і торцевої рами, яка серійно випускалася раніше. Наведені ілюстрації розташування вагонів при випробуваннях, а також зони втрати міцності кутових фітінгів контейнера-цистерни. Наведені результати досліджень можуть служити основою для нормування діючих на контейнер-цистерну навантажень в умовах експлуатації і проведення подальших досліджень.

Ключові слова: контейнер-цистерна, несиметричний диметилгідразин, торцева рама, випробування, механічні напруги, допустимі напруження, тензорезистори, надійність, межа плинності.

ON THE TENSE STATE OF THE ELEMENTS OF THE CONTAINER-TANK DESIGN FOR ASYMMETRIC DIMETHYLHYDRAZINE

The article focuses on a special group of railway carriages - a specialized mobile warehouse for the transport of dangerous goods, - tank containers for the provision of rocket and space landfills with asymmetric dimethylhydrazine. The need for a rolling stock for the carriage of this type of cargo, justified by the rapid high-tech development of the rocket industry in Russia, the USA, China and a number of other countries, is substantiated. The article outlines the main provisions of the methodology used in the assessment of the tense state of the elements of the tank-container construction. The goals and objectives of the tests are set. An analysis was conducted to identify the most vulnerable to defects and malfunctions of the elements of the carrier structure of tank-containers, which arise from the causes: exceeding the speed of collision of wagons during maneuvering work and passing the curves; emergency situations; violation of operating rules when loading and unloading bulk cargoes. The indicated methods and methods of testing under the influence of shock loads provided by the current normative documents of Ukraine and the CIS countries, taking into account the physical properties of materials, of which the elements of construction of tank containers for asymmetric dimethylhydrazine 2G150 Model 8508 and their permissible voltages are composed. The scheme developed specifically for these tests, the placement of strain gauges on the various elements of tank-containers, the results of tests of tank-containers are presented. The order of calculations in processing of experimental data is shown. The results of the correspondence of the applied loads and the mechanical stresses to the destruction of the material of the tank-container construction, as well as the areas of increased stresses in the main elements of the prototype container-tank, which did not exceed the permissible stresses, were revealed. Published results of tests of the front frame of the new design and the end frame, which was serially released earlier. The illustrations of the location of cars in the tests, as well as the zone of loss of strength of the corner fittings of the tank-container are given. The given research results can serve as the basis for the normalization of operating on the container-cistern loads in terms of operation and further research.

Keywords: *tank-container, asymmetric dimethylhydrazine, end frame, tests, mechanical stresses, permissible stresses, strain gauges, reliability, yield strength.*

Рецензент: д-р техн. наук, професор Парунакян В. Е.

Статья поступила 11.11.2018 р.

УДК 539.422.24

Коваленко І. В.¹

ОСНОВНЫЕ ЭТАПЫ УСТАЛОСТНОГО РАЗРУШЕНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ СУДОВЫХ ВСПОМОГАТЕЛЬНЫХ МЕХАНИЗМОВ ПРИ ВОЗНИКНОВЕНИИ РАЗЛИЧНЫХ КОНЦЕНТРАТОРОВ НАПРЯЖЕНИЙ

В статье представлено описание построения и обоснования модели усталостного разрушения, объединяющей такие стадии как образование и рост трещин в элементах судовых конструкций, имеющих различные концентраторы напряжений.

Представленная для рассмотрения модель усталостного разрушения включает в себя образец для проведения исследований много и малоциклового усталости поврежденного материала, а также условие, определяющее начальный размер макротрещины и характеризующее переход от первой стадии усталостного разрушения к последующей.

Ключевые слова: компьютерное моделирование, усталостное разрушение, микро- и макропластические деформации, сварной шов, дефекты, трещиностойкость.

Введение

Постоянное повышение требований к качеству изготовления узлов судовых конструкций, выполнению их ремонтов, с применением сварки биметаллов, обуславливают появление новых методов расчета и определения эксплуатационных свойств. Особую роль играет прогноз о длительности эксплуатации металлоконструкции. В связи с этим, разработки в указанном направлении являются весьма актуальными.

Анализ последних исследований и публикаций. Свойства биметаллических сталей ВСтЗсп5 + 10Х13 широко известны [1], применяются как коррозионностойкие и термостойкие материалы при изготовлении деталей работающих в воде, разбавленных растворах солей, агрессивных термических средах, в судостроительной промышленности. Имеется информация по определению свойств коррозионного износа и значением скорости общей коррозии 0.1 – 0.3 мм/год.

Постоянное повышение требований к качеству изготовления металлургических агрегатов, выполнению их ремонтов, с применением сварки биметаллов, обуславливают появление новых методов расчета и определения эксплуатационных свойств. Особую роль играет прогноз о длительности эксплуатации металлоконструкции. В связи с этим, разработки в указанном направлении являются весьма актуальными.

Свойства биметаллических сталей ВСтЗсп5 + 10Х13 широко известны [2], применяются как коррозионностойкие и термостойкие материалы при изготовлении деталей работающих в воде, разбавленных растворах солей, агрессивных термических средах, в нефтехимической промышленности. Имеется информация по определению свойств коррозионного износа и значением скорости общей коррозии 0.1 – 0.3 мм/год [2].

Необходимость в проведении исследований, направленных на определение работоспособности сварных соединений биметаллов имеет особое значение так как данные материалы применяются как при изготовлении, так и при ремонте промышленных агрегатов.

Данные [3], свидетельствуют что из-за увеличения уровня остаточных напряжений и образования неоднородностей структуры при сварке биметаллов значения ударной вязкости снижаются на 20-25 % по сравнению с исходным вариантом.

¹ канд. техн. наук, доцент, ГВУЗ «Азовский морской институт», г. Мариуполь, ivankovalenko165@gmail.com

В работе [3], установлено что вблизи сварных соединений биметаллов могут возникать дефекты, вызванные пластической деформацией укорочения. Склонность сварных соединений к образованию таких дефектов тем больше чем меньше деформационная способность.

Приведенная информация требует дополнительного анализа и исследования.

Целью данной работы является представление и обобщение рассматриваемой модели усталостного разрушения включающей в себя проведения исследований много и малоциклового усталости поврежденного материала судовых металлоконструкций.

Изложение основного материала.

Изложенный в статье материал по описанию модели усталостного разрушения включает в себя образец для много и малоциклового усталости поврежденного материала, а также условие, определяющее начальный размер макротрещины и характеризующее переход от первой стадии усталостного разрушения ко второй [4].

Согласование составляющих объединенной модели достигается на основе использования единого подхода к описанию процесса накопления повреждений на различных стадиях усталостного разрушения, в основу которого положено представление о деформационном разрыхлении, обусловленном макро и микропластическими деформациями [5].

Для описания влияния неоднородности напряженно-деформированного состояния (НДС) на усталость в концентраторах с малым радиусом кривизны в вершине [7], к которым относятся дефекты сварных швов, используется интегральная формулировка критерия разрушения:

$$\int_{V_0} \Theta(x, N) dV = \Theta_* \quad (1)$$

где V_0 – минимальный объем материала, в котором возможно развитие процесса накопления усталостных повреждений, N – число циклов нагружения.

Протяженность вдоль оси концентратора характеризуется структурно зависимым параметром материала, значение которого находится из испытаний на циклическую трещиностойкость. Значение параметра определяется как расстояние, на котором амплитуда напряжения достигает значения предела усталости при размахе коэффициента интенсивности напряжений (КИН), равном пороговому значению ΔK_{th} . С учетом поправки Дж. Р. Ирвина на перераспределение напряжений в вершине трещины в результате пластического деформирования выражение для параметра принимает вид:

$$d = \left[\left(\Delta K_{th} / (1-r) \sigma_{0.2} \right)^2 + \left(\Delta K_{th} / 2\sigma_r \right)^2 \right] / 2\pi. \quad (2)$$

Результаты исследований развития усталостного повреждения и образования макротрещины в концентраторе, показывают, что начальный размер образующейся макротрещины согласуется со значением параметра.

Развитие процесса накопления усталостных повреждений зависит от граничных условий для локального объема и, следовательно, будет контролироваться напряжениями и деформациями на расстоянии от вершины концентратора. Это позволяет записать выражение для эффективного коэффициента концентрации напряжений в виде:

$$k_\sigma = \Delta\sigma_d / \Delta\sigma_n, \quad (3)$$

где $\Delta\sigma_n$ – размах номинальных напряжений. В таблице 1 представлено сравнение расчетных значений параметра с данными экспериментов, приведенных в литературных источниках.

Таблица 1 – Сравнение экспериментальных и расчетных значений параметра

Материал основного слоя	S,(мм)	G ₀₂ (МПа)	D, эксперимент (мм)		G _r (МПа)		ΔK _{тп} (МПа)	D, расчетн. (мм)
			N _f <10 ⁵	N _f >10 ⁵	r = -1	r = -1		
10X13	6	340	0,13	0,22	126	110	5	0,12
	12		0,13	0,3				
	24		0,13	0,4				
09Г2С	1,85	400	0,18	0,18	120	105	6	0,17
08КП	3	280	0,25	0,25	147	134	7,8	0,26

Повышение значения параметра с увеличением толщины образца и ростом числа циклов до разрушения объясняется переходом вида напряженно-деформированного состояния в подповерхностных слоях в вершине концентратора от плоского напряженного состояния к плоской деформации [7].

Сравнение расчетных значений эффективного коэффициента концентрации напряжений с экспериментальными данными, приведенными в литературе, показывает их достаточно хорошее согласие для сталей различных классов [8]. В качестве примера на рисунке 1 [9] представлено сравнение экспериментальных данных с расчетной кривой на пределе усталости в зависимости от радиуса кругового отверстия в плоских образцах из стали 10X13.

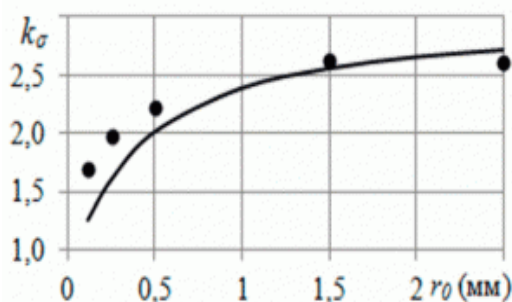


Рисунок 1 – График зависимости коэффициента концентрации напряжения от радиуса отверстия образца (k_σ – коэффициент концентрации напряжений; r_0 – начальный радиус трещины отверстия образца, мм;)

Усталостное разрушение в объемах, превышающих, после образования макронесплошности сопровождается одновременно развитием двух процессов – усталость вне зоны разрушения и рост трещины в поврежденном материале [9].

Критерий разрушения локального объема металла с образованием макронесплошности на расстоянии от вершины концентратора после циклов нагружения записывается в виде: $\theta(x, N_*) = \theta_*$. Величина деформационного разрыхления связана с работой микронапряжений на пути микро- и макропластического деформирования и определяется кинетическими соотношениями, развитыми в исследованиях В. Я. Бреднева [10].

Дискретное приращение длины трещины на величину после циклов нагружения происходит при выполнении в области вершины трещины критерия локального разрушения, принимающего вид:

$$\theta(\zeta_*, n_*) = \theta_*, \quad (4)$$

где $\theta(\zeta_*, n_*) = \theta_y + \theta_0^p(\zeta_*) + \theta^p(\zeta_*, n_*)$, θ_y – разрыхление, накопленное в результате циклического деформирования в концентраторе напряжений на первой стадии усталостного разрушения, определяемое для точки с координатой $x = l + \zeta_*$, $\theta_0^p(\zeta_*)$ – разрыхление в нулевом полцикле нагружения.

На первой стадии усталостного разрушения приращение размеров макронесплошности в вершине концентратора с увеличением числа циклов нагружения будет определяться координатами точек, в которых последовательно выполняется критерий усталостного разрушения и характеризоваться скоростью [7]. С ростом макронесплошности в ее вершине будет формироваться НДС, характерное для макротрещины и определяющее ее скорость роста. Критерием перехода от первой стадии усталостного разрушения ко второй, определяющим с расчетной точки зрения момент образования макротрещины, является равенство [10]. Решение данного уравнения относительно расстояния дает начальный размер трещины.

Экспериментальное исследование зарождения трещины в концентраторе напряжений в условиях малоциклового усталости выполнено на прямоугольных образцах из стали Ст3, имеющих в вершине краевого надреза круговое отверстие с проточкой (см. рисунок 2) [6,9]. Принятая форма образца позволяет получить протяженную зону циклических пластических деформаций, что облегчает наблюдение за процессом развития усталостного разрушения. Параметры НДС в вершине концентратора рассчитывались с использованием численной процедуры МКЭ.

На рисунке 3 [11] представлен характер изменения длины трещины, развивающейся от кромки отверстия, в зависимости от числа циклов нагружения. Из полученных данных следует, что после замедленного распространения усталостного разрушения на расстояние от вершины концентратора 1,1 мм происходит скачкообразное подрастание трещины и последующее ее ускоренное развитие.

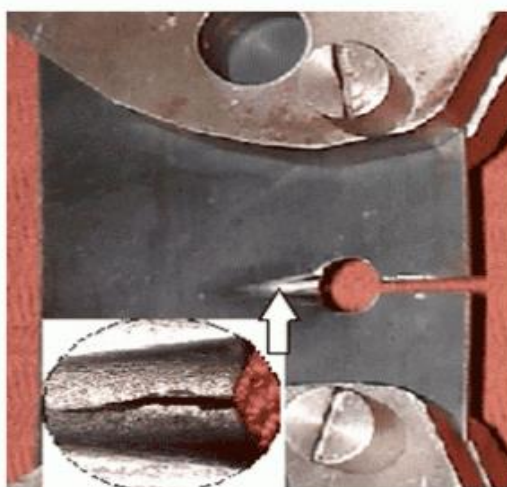


Рисунок 2 – Общий вид образца для проведения исследований

Замедление процесса приращения протяженности зоны разрушения в вершине концентратора характерно для малоциклового усталости [12]. В связи с этим за начальный размер макротрещины по данным эксперимента следует принять длину 1,1 мм. Начальный размер трещины, полученный на основе расчетной модели, составляет 1,05 мм. Значение скорости разрушения в поврежденном материале для полученной начальной длины трещины составляет 0,008 мм/цикл, что соответствует значениям, наблюдаемым на заключительной стадии усталостного разрушения образцов, и определяет возможность скачкообразного развития трещины.

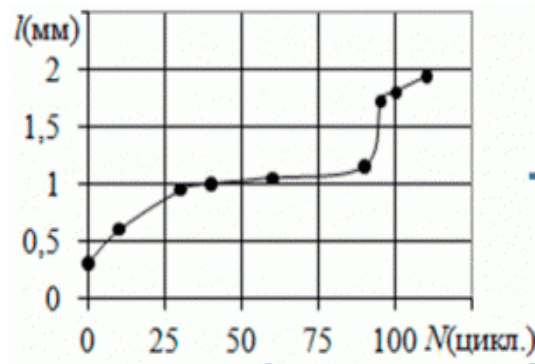


Рисунок 3 – Циклограмма процесса развития и разрушения образца
(l – длина трещины от кромки отверстия образца, мм; N – число циклов нагружения;)

ВЫВОДЫ

1. Установлено что развитие деформированного состояния образца происходит вдоль оси концентратора и прямо пропорционально влияет на его циклическую трещиностойкость.
2. Определено что модульное значение амплитуды напряжений достигает величины предела усталости при значении интенсивности напряжений 5-7,8 МПа.
3. Выявлено что процесс объемного разрушения по линии сплавления околошовной зоны сопровождается увеличением усталости вне зоны разрушения, и ростом трещины в основном металле сварного соединения.

Список использованных источников:

1. *Панасюк, В. В.* Застосування методів механіки руйнування матеріалів для поцінування міцності зварних з'єднань / *В. В. Панасюк* // Автоматическая сварка. – 2008. – № 11. – С. 151–156.
2. *Махненко, В. И.* Ресурс безопасной эксплуатации сварных соединений и узлов современных конструкций / *В. И. Махненко*. – Киев: Наукова думка, 2006. – 618с.
3. *Патон, Б. Е.* Новые возможности автоматической сварки в машиностроении / *Б. Е. Патон, Л. Б. Медовар, В. Е. Саенко* // Металлургия машиностроения. – 2003. – № 1. – С. 2–5.
4. *Медовар, Б. И.* Сварка хромоникелевых аустенитных сталей / *Б. И. Медовар*. – М. : Машгиз, 1958. – 258с.

5. *Мовчан, Б. А.* Микроскопическая неоднородность в литых сплавах / *Б. А. Мовчан.* – Киев : Гостехиздат УССР, 1968. – 230 с.
6. *Касаткин, Б. И.* Методика исследования кинетики деформаций при замедленном разрушения / *Б. И. Касаткин, В. Я. Бреднев, В. В. Волков* // Автомат. сварка. – 1981. – № 11. – С. 1–11.
7. *Недосека, А. Я.* Основы расчета сварных конструкций / *А. Я. Недосека.* – Киев : Вища школа, 1988. – 263 с.
8. *Николаев, Г. А.* Сварные конструкции. Прочность сварных соединений и деформации конструкций / *Г. А. Николаев, С. А. Куркин, В. А. Винокуров.* – М. : Высш. школа, 1982. – 270 с.
9. *Стафаков, Ю. П.* Рост трещин вблизи границы раздела разнородных материалов в условиях сжатия / *Ю. П. Стафаков, И. Л. Побаль, А. Г. Князева* // Физ. мезомеханика. – 2002. – № 1. – С. 81–88.
10. *Земзин, В. Н.* Сварные соединения разнородных сталей / *В. Н. Земзин.* – Л. : Машиностроение, 1966. – 190 с.
11. *Мовчан, Б. А.* Микроскопическая неоднородность в литых сплавах / *Б. А. Мовчан.* – Киев : Гостехиздат УССР, 1968. – 230 с.
12. *Коваленко, И. В.* Усовершенствование технологии дуговой сварки биметаллических сталей при изготовлении промышленных металлоконструкций : дис. ... канд. техн. наук : 05.03.06; защищена 08.12.13 : утв. 12.12.13 / *Коваленко Иван Васильевич.* – Мариуполь, 2013. – 146 с.

Коваленко І. В.

СЛІДУВАННЯ ПРОЦЕСУ УСТАЛОСТНОГО РУЙНУВАННЯ ЕЛЕМЕНТІВ ТА ДЕТАЛЕЙ СУДНОВИХ ДОПОМІЖНИХ МЕХАНІЗМІВ ТА КОНСТРУКЦІЙ ПРИ ВІНИКНЕННІ РІЗНИХ КОНЦЕНТРАТОРІВ НАПРУГИ

У статті представлено опис побудови і обґрунтування моделі втомного руйнування, що об'єднує такі стадії як освіта і зростання тріщин в елементах суднових конструкцій мають різні концентратори напружень. Представлена для розгляду модель втомного руйнування включає в себе зразок для проведення досліджень багато і малоциклової втоми пошкодженого матеріалу, а також умову, що визначає початковий розмір макротріщини і характеризує перехід від першої стадії втомного руйнування до наступної. Описано процес розвитку накопичення втомних пошкоджень який залежить від граничних умов для місцевого обсягу і, отже, буде контролюватися напруг і деформацій на деякій відстані від вершини концентратора. Описано збільшення значення параметра при збільшенні товщини зразка і збільшення числа циклів до руйнування в зв'язку з переходом на вигляд напружено-деформованого стану в плакуючому шарі у верхній частині зразка від плоского напруженого стану до плоскої деформації. Порівняння розрахункових значень ефективних коефіцієнтів концентрації напружень з експериментальними даними, які приводилися в літературі, показує досить гарне значення (показання) для сталей різних класів. У дослідженнях проведених в даному напрямку важливо встановити напрямок розвитку деформованого стану зразка в якому напрямку воно відбувається уздовж осі концентратора або має назад пропорційну залежність на циклічну тріщиностійкість. Також важливо визначити модульне значення амплітуди напруг, в яких межах воно досягає величини межі втоми і при яких значеннях інтенсивності напружень.

При розгляді підвищення значення параметра зі збільшенням товщини зразка і зростанням числа циклів до руйнування, необхідно пояснити перехід виду напружено-

деформованого стану в підповерхневих шарах в вершині концентратора від плоского напруженого стану до плоскої деформації. При цьому необхідно виявити послідовність процесу об'ємного руйнування по лінії сплавлення околовшовної зони, а також всіх інших зон шва і визначити чи супроводжується процес збільшенням втомної поза зоною руйнування, і зростанням тріщини в основному металі зварного з'єднання.

Ключові слова: комп'ютерне моделювання, втомне руйнування, мікро- і макропластичні деформації, зварний шов, дефекти, тріщиностійкість.

Kovalenko I. V.

ROUTE OF THE PROCESS OF FATIGUE FAILURE OF THE ELEMENTS AND COMPONENTS OF MARINE AUXILIARY MACHINERY AND STRUCTURES IN THE EVENT OF VARIOUS STRESS RAISERS

The article presents the description of construction and substantiation of the model of fatigue fracture, combining such stages as the formation and growth of cracks in the elements of ship structures with different stress concentrators. Submitted for consideration to model fatigue damage includes a sample for research a lot and low cycle fatigue damaged material, as well as the condition that determines the initial size of the macrocrack and characterizing the transition from the first stage of the fatigue damage to the subsequent. The results of studies of the development of fatigue damage and macrocrack formation of the hub, show that the initial size of the formed macro-consistent with the value of the parameter. The development process of fatigue damage accumulation depends on the boundary conditions for the local volume and, consequently, will be controlled by the stresses and strains at a distance from the top of the hub. The increase in parameter value with increasing thickness of the sample and the increase in the number of cycles to failure is due to the transition of the view of stress-strain state in subsurface layers in the top of the hub from the flat stress state to plane strain. Comparison of calculated values of effective coefficient of stress concentration with experimental data reported in the literature, shows a sufficiently good agreement for steels of different classes. In studies conducted in this direction, it is important to establish the direction of development of the deformed state of the sample in which direction it occurs along the axis of the concentrator or has an inversely proportional relationship to cyclic crack resistance. It is also important to determine the modular value of the stress amplitude, within which limits it reaches the fatigue limit value and at what values of the stress intensity. When considering increasing the parameter value with increasing sample thickness and increasing the number of cycles before fracture, it is necessary to explain the transition of the stress-strain state in the subsurface layers at the top of the concentrator from the flat stress state to the plane strain

It is necessary to identify the sequence of the process of volumetric destruction along the fusion line of the heat-affected zone, as well as all other weld zones, and determine whether the process is accompanied by an increase in fatigue outside the zone of fracture, and the crack growth in the base metal of the welded joint.

Keywords: computer modeling, fatigue damage, micro and microplasticity deformation, weld defects, and crack resistance.

Рецензент: канд. техн. наук, доц. АМИ НУ «ОМА» Берестовой И. О.
Статья поступила 04.11.2018 р.

УДК 628.4.038

Волошин В. С.

СОВРЕМЕННЫЕ ОСОБЕННОСТИ ПРОИЗВОДСТВА ПРИ СУЩЕСТВУЮЩИХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ УКЛАДАХ С ПОЗИЦИЙ ПРОЦЕССОВ ОТХОДООБРАЗОВАНИЯ

Работа посвящена вопросам минимизации отходов в технологиях различных технологических укладов, включая уклады V и VI уровней. На основании многочисленных источников и публикаций показано, что проблемы отходов, их минимизации являются актуальными вне зависимости от привязки к уровню развития современной технологической мысли и вне привязки к уровню технологических укладов и вне привязки к странам, в которых эти уклады действуют. Этим еще раз подтверждается актуальность поиска новых подходов к вопросам отходообразования, как явления. За основу предложено принимать такие свойства составляющих любого технологического процесса, как компонентность его сырьевой базы, качество и источники энергии, применяемые в конкретном технологическом процессе. Представлена схема реализации, так называемого, полимодального технологического процесса, основная идея которого заключается в подавлении отходообразования в самом источнике его возникновения, а именно, в технологическом процессе. Обеспечивается это согласованием источников энергии, применяемой в данной технологии и структуры компонентов сырьевой базы, также относящейся к этому процессу. Такой подход способствует увеличению выхода товарной продукции и уменьшению доли компонентов сырьевой базы, которые могли бы составить возможную базу отходов. Подобные технологии могут отличаться высокой затратностью, нестандартными подходами к производству, но они направлены на решение важнейших задач современности, минимизации промышленных отходов.

Ключевые слова: технологические уклады, отходообразование, товарная продукция, функции сродства и отторжения, подавление отходов в источнике, полимодальный технологический процесс.

Цели и задачи работы. Актуализация проблем отходообразования в контексте их привязки к существующим технологическим уровням производства. Предложение новых возможностей и способов для реализации актуальных подходов к проблемам минимизации отходов в технологических процессах.

Состояние вопроса. Обсуждение вопросов отходообразования в технологических укладах является крайне актуальным для современного технизированного общества. По крайней мере, потому, что они закладывают для будущего те проблемы, с которыми общество постоянно сталкивается при традиционных технологических укладах, в частности, связанные со степенью воздействия на окружающую среду.

Основная часть работы. Неравномерность распространения современных технологических укладов существенно тормозит их развитие в мире (табл. 1), но делает их существенным инструментом в решении многих современных экономических и экологических проблем, и даже - в политических вопросах. В качестве примера можно сослаться на мировую динамику транзакций в высокоотходные технологии в рамках IV и даже III технологических укладов в страны третьего мира (Китай, Индонезия, Индия, Бразилия) в конце прошлого столетия и преимущественное размещение современных технологий V и VI технологических укладов в США, странах Западной Европы.

Таблица 1 – Доля технологических укладов в экономике отдельных стран и регионов*

Страна	Технологический уклад, %			
	III	IV	V	VI
США	-	20	60	5
Япония	-	10	55	20
Зап. Европа	5	25	45	5
Россия	30	50	10	-
Бразилия	40	45	10	-
Украина	58	38	4	-

* - по данным источников [1, 2, 3, 4]

Далеко не все в порядке и с производствами шестого технологического уклада. Такие технологии, как нано-, основанные на асSEMBлировании наноизделий из исходных наночастиц, которые по общей идее их основателей Н. Танигути, Х. Дрекслера и Р. Фейнмана должны бы быть почти безотходными [5, 6], в настоящее время таковыми не являются. Мало того, если принимать во внимание объемы их отхоодообразования, приведенные к объемам производимой товарной продукции, то подобные производства пятого и шестого технологических укладов по такому показателю проигрывают даже технологиям четвертого и третьего технологических укладов [7]. Расчетное соотношение функций средства и отторжения, определяемых по нашей методике [8] и показывающих относительную мощность получения отходов в любой технологии, свидетельствуют об этом (табл. 2). Причина во многом заключается в том, что специалисты в области технологий шестого уклада, практически соотносят новые технологии по своим идеологиям с технологиями более низких укладов, тем самым своеобразно «развивая культуру» отхоодообразования.

Таблица 2 – Расчетное соотношение функций средства и функций отторжения по материалопотокам в нанотехнологиях

Наименование технологии	Экспериментальная производственная материальная база, г.			Функция	
	Сырьевая	производственная	отходы	Средства	Отторжения
Получение нанопорошков ⁽¹⁾	0,25	0,17	0,08	0,68	0,32
Производство нанопроволоки ⁽²⁾	0,070	0,063	0,007	0,90	0,10
Получение «файнмета» ⁽³⁾	100,0	77,5	22,5	0,775	0,225
Получение углеродных трубок ⁽⁴⁾	0,030	0,0285	0,0015	0,95	0,05
Технологии интенсивной пластической деформации ⁽⁵⁾	160,0	149,7	10,3	0,936	0,064
Технология механосинтеза*	0,010000	0,009975	0,000025	0,9975	0,0025

⁽¹⁾ – по данным работы [10]

⁽²⁾ – по данным работы [11]

⁽³⁾ – по данным работы [12]

⁽⁴⁾ – по данным работ [9] и [14]

⁽⁵⁾ – по данным работ [13] и [15]

* - данные получены расчетным путем с использованием методик [11] и [16].

Структура современной классической системы технологического процесса состоит из собственно технической системы (рис. 1), призванной обеспечивать осуществление этого процесса. На входе такой системы обязательен некоторый материальный сырьевой поток (S_k - непрерывный или дискретный), поток энергии (E_0), который приводит в действие инструменты самой технической системы (ТС), для того, чтобы целенаправленно изменять состояние сырьевого материала, а также информационный поток (I_0), который по существу отображает способы и допустимые условия для переработки сырьевых материалов в материальные потоки готовой продукции (\vec{P}) и отходов (\vec{W}). На выходе системы мы традиционно имеем собственно полезную продукцию (P), ради которой и существует данная производственная система и отходы (W), структура и качество которых произвольны и зависят от многих факторов самого производственного процесса. Эта схема кочует по литературным источникам, независимо от научных целей публикаций.

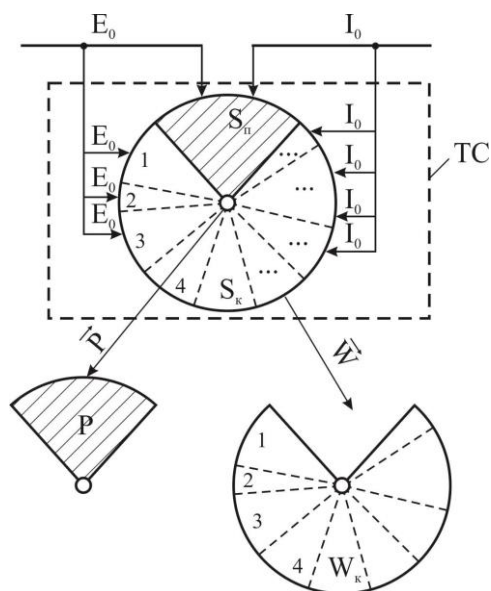


Рисунок 1 – Условная схема традиционного технологического процесса
(Обозначения по тексту)

Обратим внимание на некоторые особенности такой схемы.

1. Сырьевой поток, как правило, является поликомпонентным, состоит из «n» компонентов и предназначается для получения полезной продукции в виде, чаще всего, одно- двухкомпонентного вещества (S_n). Остальные компоненты ($S_k, k = 1(1)n$) сырьевой базы если и перерабатываются, то только теми же способами и теми же источниками энергии, что и основной компонент. И не более того. Если основной компонент (S_n) перерабатывается, например, с помощью тепловой энергии, то и остальные компоненты (S_k) сырьевой базы также перерабатываются этим видом энергии. Чаще всего производственная система не обладает другими источниками энергии.

2. Источник энергии в технологическом процессе избирается в соответствии с существующими инженерными представлениями о способах получения необходимого полезного продукта из заданного поликомпонентного сырья. Общие условия таковы. *Исходному полезному компоненту сырьевой базы, в рамках данного технологического*

Енергетичні системи та обладнання

процесса, должен соответствовать такой энергетический ресурс, при помощи которого из него получается товарная продукция. Остальные компоненты сырьевой базы автоматически подпадают под действие этого же источника энергии (см. рис. 1). При этом они претерпевают самые произвольные преобразования, делающие их впоследствии неприменимыми в качестве товарной продукции: такие компоненты или части сырья для основного технологического процесса деформируются (стружка) взаимно спекаются (шлаки), смешиваются (сыпучие вещества), взаимно растворяются (загрязнения), рассеиваются (пыль) и др. Примеры очевидны. Для полезных изменений этих компонентов нужна другая энергия, другие технологические условия (другая информация). Существующие технологические процессы в абсолютном большинстве к этому не приспособлены (такие задачи перед ними никогда не ставились).

Пример? Сырьевая база доменного процесса содержит до 20 компонентов, среди которых химические соединения кремния, серы, фосфора, марганца, железа, углерода и др. Нам же нужно только железо или его науглероженная производная в виде чугуна. Для этого в технологическом процессе применяется тепловая энергия сгорания природного газа и кокса. Экзотермическую энергию отдельных реакций в расчет пока можно не принимать. Они не дают существенных приростов энергии в доменном процессе. Но энергией этих тепловых источников перерабатываются и остальные компоненты исходного сырья.

Значит, в самом упрощенном варианте, имеет право на существование гипотеза о том, что **природа отходообразования может быть заключена в двух равнозначных составляющих: многокомпонентной сырьевой базе и локальных источниках энергии, которые применяются в данном технологическом процессе.**

Да, во многих других производствах существуют технологии обогащения, флотации, сепарации, в которых происходит принудительное увеличение доли того компонента сырьевой базы, из которого потом получается товарная продукция, или происходит отделение одних, «нужных» компонентов от других, «ненужных» (рис. 2). Это технологии своеобразной предварительной подготовки сырья к заданному технологическому процессу (например, агломерация для того же доменного производства) для которых должны быть свои источники энергии (E_0 и E_1), свои правила в виде потоков информации (I_0 и I_1). И не более. Все они отличаются принципиально от полимодальных технологий. Для последних каждый, или почти каждый компонент сырья перерабатывается до состояния товарной продукции посредством необходимой для этого энергии.

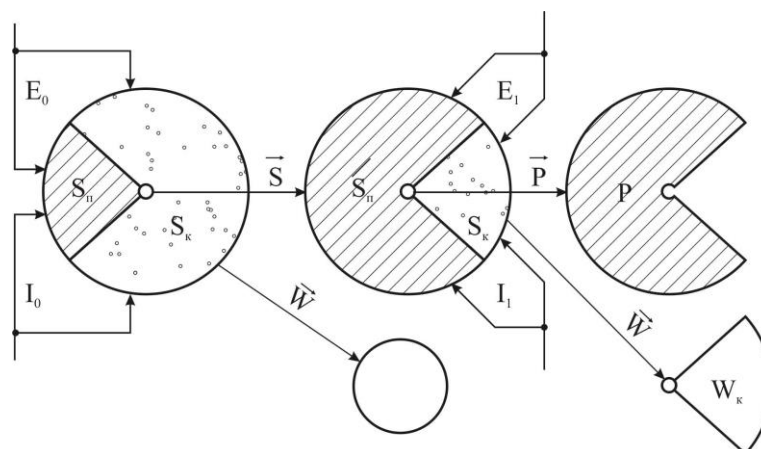


Рисунок 2 – Условная схема технологии обогащения сырьевого материала
(обозначения по тексту)

Енергетичні системи та обладнання

Идеальный вариант, когда в технологическом процессе существуют и технические, и энергетические условия для переработки каждого компонента сырьевой базы (рис. 3). В частности, система, кроме собственного источника энергии (E_0), предназначенного для переработки необходимой части сырья (S_{Π}) должна содержать дополнительно такие источники энергии (e_k), которые и по качеству, и по количеству соответствуют требованиям переработки каждого компонента (S_k) в объеме сырьевой базы для последующего трансформации его в полезную продукцию (назовем ее отходами с признаками полезной продукции - $W(P)_k$). Безусловно, для этого нужны новые технологии, новые источники информации (i_k). Технологи же, в первую очередь, интересуют, как можно переработать первичное сырье для получения собственно полезной продукции. И, как правило, мало беспокоит вопрос о том, каким образом при этом будут изменять свои свойства, структуру и внешний вид другие компоненты сырьевой базы. В результате мы имеем то, что называется компонентной базой отходов - никому не нужные продукты конкретного производственного процесса.

Попробуем представить себе абстрактный технологический процесс (назовем его полимодальным, для простоты отличия от классических), в котором каждому компоненту сырьевой базы отвечал бы такой источник энергии, который однозначно перерабатывал его вне зависимости от состояния других компонентов сырьевой базы, состояния полезного продукта.

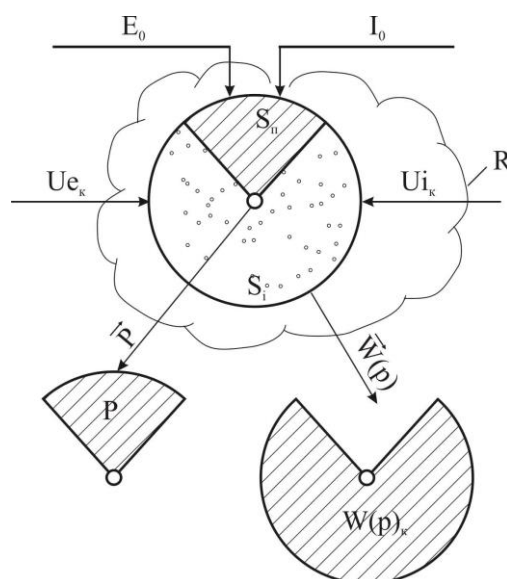


Рисунок 3 – Условная схема полимодального технологического процесса
(Обозначения по тексту)

Вернемся к нашему доменному процессу. Не принимая во внимание конструкцию доменной печи представим себе некоторый физико-химический реактор (R) (см. рис. 3), в котором происходит функциональное разделение многокомпонентного сырья в виде доменной руды, флюсовых присадок и кокса на отдельные составляющие: некоторые соединения кремния, серы, фосфора, отдельно - мышьяк, отдельно другие составляющие рудного материала (табл. 3). В этом случае условная количественная составляющая полезной товарной продукции могла бы достигать 88-95 % по весу от используемой руды, кокса и присадок. В этом случае, доменное производство вместо 45 % сырья переводила бы в отходы всего 5-10 % этого сырья в виде «пока» не перерабатываемой его части. В частности, в таком реакторе можно использовать высокотемпературные электролитические или химические

Енергетичні системи та обладнання

(связанные с каталитическими процессами) источники энергии. Да, их надо еще разработать, но «игра стоит свеч». По существу, мы говорим о способах подавления отходов в источнике их появления, т. е. в самом технологическом процессе. Заманчивая идея! Найдутся ли смельчаки?

Таблица 3 – Оценочные данные по распределению некоторых компонентов сырьевой базы доменного процесса между товарной продукцией и отходом, приведенного к относительным количественным показателям товарного чугуна, %

Компоненты сырьевой базы	Содержание в сырье, %	Традиционные Технологии		Полимодальные технологии*	
		Продукция	Отход	Продукция	Отход
Железо	16-72	60	-	60	-
Кремний	8-10 и более	-	25-30	23-28	-
Фосфор руды	0,15	-	0,1-0,25	0,15	-
Фосфор кокса	0,015-0,04	-	0,03-0,05	0,01-0,04	-
Углерод кокса	80-88	3-4	-	3-3,5	-
Сера руды	0,1-0,3	-	0,11-0,25	0,2	-
Сера кокса	0,5-1,8	-	0,05-0,10	-	-
Мышьяк	0,05-0,09	-	0,03-0,05	0,01-0,05	-
<i>CaO известняка</i>	55	-	3-4	~2	-
<i>SiO₂ известняка</i>	45	-	2,5-3,0	~1	-
Зола кокса	8-12	-	8-10	-	5-11
ВСЕГО:	-	63-64	33,3-40,7	89,37-94,9	5-10

* - оценочные варианты распределения компонентов, принимающих участие в технологическом процессе, если в нем будут присутствовать полимодальные технологии.

К сожалению, приходится быть уваренными, в том, что предлагаемую полимодальную технологическую идеологию воспримут далеко не все. Тем более, что реальных примеров пока еще весьма мало. Кому-то она покажется надуманной, кто-то не согласится с доминантой на полимодальные технологии, посчитав их ненужными, лишними, принимая во внимание только утилитарные задачи получения прямой полезной продукции и последующих переработок полученных отходов. Традиционные специалисты, технологи, основной задачей которых на протяжении многих лет было совершенствование существующих технологий и доведение технологических показателей до уровня максимальной производительности, до максимального уровня качества основной продукции, посчитают кощунственным вмешательство в традиционные технологии.

ВЫВОДЫ

Несмотря на существование в мире уже шестого технологического уклада, большая часть товарной продукции и предметов потребления изготавливается в технологиях пятого, четвертого и даже третьего технологических укладов. И общество пока не научилось ни эффективно справляться с отходами в источнике их возникновения хотя бы в одном из существующих технологических укладов, ни минимизировать их до уровня, безопасного для окружающей среды. И если традиционные технологии существуют многие столетия и даже тысячелетия и они по существу отвечают сегодня за загрязнение окружающей среды, то новые идеологии в технологических укладах еще длительное время будут пробивать себе

Енергетичні системи та обладнання

дорогу. Но за ними перспектива. Она связана с существованием человечества, а ему альтернативы быть не может. По крайней мере, для самих людей.

Список использованных источников:

1. Каблов, Е. Шестой технологический уклад [Электронный ресурс] / Е. Каблов // Наука и жизнь. – 2010. – № 4. – Режим доступа: <https://www.nkj.ru/archive/articles/17800/>
2. Rogozin, D. O. Робот встанет под ружьё / Д. О. Rogozin // Российская газета. – 2013. – № 264 (6240).
3. Василенко, В. Технологические уклады в контексте стремления экономических систем к идеальности / В. Василенко // Соціально-економічні проблеми і держава. – Тернополь, 2013. – Т. 8, № 1. – С. 65–72.
4. Моделирование и прогнозирование мировой динамики / В. А. Садовничий [и др.]. – М. : ИСПИ РАН, 2012. – 359 с.
5. Drexler K. E. Engines of Creation. The Coming Era of Nanotechnology / K. E. Drexler, M. Minsky. – Anchor, 1987. – 227 p.
6. Нанотехнологии как ключевой фактор нового технологического уклада в экономике / под ред. С. Ю. Глазьева, В. В. Харитонова. – М. : Гривант, 2009. – 304 с.
7. Волошин, В. С. К вопросу об энергетическом двуединстве продуцирования и отходообразования в производственных системах / В. С. Волошин // Екологічна безпека : проблеми та шляхи вирішення : XIII Міжнар. науково-практ. конф. (Харків, 11–15 вересня 2017 р.) : зб. наук. статей. – Харків, 2017. – С. 101–105.
8. Волошин, В. С. Методы управления ресурсопотоками в экологических циклах / В. С. Волошин, П. М. Сменченко. – Донецк : Донецчина. – 1997. – 72 с.
9. Шевердяев О. Н. Нанотехнология. Состояние и перспективы / Шевердяев О. Н. // Известия академии промышленной экологии. – 2006. – № 1. – С. 26–32.
10. Инженерные проблемы получение и применения нанопорошков для экологических приложений / С. П. Бардаханов [и др.] // Известия академии промышленной экологии. – 2006. – № 1. – С. 20–25.
11. He, L. Structure and properties of nanocomposites / L. He, E. Ma // Mat. Sci. Eng. – 1995. – Vol. 20, № 4. – P. 204–245.
12. Зайцев, А. И. Нанокристаллические магнитно-мягкие сплавы – новый класс материалов / А. И. Зайцев, В. В. Садиков, В. В. Соснин // Сталь. – 2004. – № 5. – С. 98–102.
13. Валиев, Ф. З. Наноструктурные материалы, полученные интенсивной пластической деформацией / Ф. З. Валиев, Н. В. Александров. – М. : Логос, 2000. – 272 с.
14. Advances in the creation of filled nanotubes and novel nanowires / M. Terrones [et al.] // MRS Bulletin. – 1999. – Vol. 24, № 8. – P. 43–49.
15. Акчурун, М. Ш. Особенности деформирования кристаллов сосредоточенной нагрузкой : дис. ... д-ра физ.-мат. наук / Акчурун, М. Ш. – М., 2001. – 232 с.
16. Gleiter, H. Nanostructured materials : basic concepts and microstructure / H. Gleiter // Acta Mater. – 2000. – Vol. 48, № 1. – P. 29–34.

Волошин В. С.

СУЧАСНІ ОСОБЛИВОСТІ ВИРОБНИЦТВА ПРИ ІСНУЮЧИХ ТЕХНОЛОГІЧНИХ УКЛАДАХ З ПОЗИЦІЙ ПРОЦЕСІВ ВІДХОДОУТВОРЕННЯ

Робота присвячена питанням мінімізації відходів в технологіях різних технологічних укладів, включаючи уклади V і VI рівнів. На підставі численних джерел і публікацій показано,

Енергетичні системи та обладнання

що проблеми відходів, їх мінімізації є актуальними незалежно від прив'язки до рівня розвитку сучасної технологічної думки і поза прив'язкою до рівня технологічних укладів і поза прив'язкою до країн, в яких ці уклади діють. Цим ще раз підтверджується актуальність пошуку нових підходів до питань відходоутворення, як явища. За основу запропоновано приймати такі властивості складових будь-якого технологічного процесу, як компонентність його сировинної бази, якість і джерела енергії, що застосовуються в конкретному технологічному процесі. Представлена схема реалізації, так званого, полімодальної технологічного процесу, основна ідея якого полягає в придушенні відходоутворення в самому джерелі його виникнення, а саме, в технологічному процесі. Забезпечується це узгодженням джерел енергії, яка застосовується в даній технології і структури компонентів сировинної бази, також відноситься до цього процесу. Такий підхід сприяє збільшенню виходу товарної продукції і зменшення частки компонентів сировинної бази, які могли б скласти можливу базу відходів. Подібні технології можуть відрізнятися високою затратністю, нестандартними підходами до виробництва, але вони спрямовані на вирішення найважливіших завдань сучасності, мінімізації промислових відходів.

Ключові слова: технологічні уклади, відходоутворення, товарна продукція, функції спорідненості і відторгнення, придушення відходів в джерелі, полімодальний технологічний процес.

Voloshin V. S.

MODERN PECULIARITIES OF PRODUCTION UNDER EXISTING TECHNOLOGICAL INSTRUMENTS WITH THE POSITION OF WASTE DEVELOPMENT PROCESSES

The work is devoted to the issues of waste minimization in the technologies of various technological structures, including structures of levels V and VI. Based on numerous sources and publications, it is shown that waste problems, their minimization are relevant regardless of the level of development of modern technological thought and out of line with the level of technological structures and out of relation to the countries in which these structures operate. This once again confirms the relevance of the search for new approaches to the issues of waste formation, as a phenomenon. It is proposed to take as a basis such properties of the components of any technological process, such as the component content of its raw material base, the quality and energy sources used in a particular technological process. A scheme for the implementation of the so-called polymodal technological process is presented, the main idea of which is to suppress waste formation at the very source of its occurrence, namely, in the technological process. This is ensured by the coordination of the sources of energy used in this technology and the structure of the components of the raw material base, also related to this process. This approach contributes to an increase in the yield of marketable products and a decrease in the share of components of the raw material base, which could constitute a possible waste base. Such technologies may differ in high cost, non-standard approaches to production, but they are aimed at solving the most important problems of our time, minimizing industrial waste.

Keywords: technological structures, waste formation, commodity products, affinity and rejection functions, suppression of waste at the source, polymodal technological process.

Рецензент: д-р техн. наук, професор Маслов В.А.

Статья поступила 10.10.2018 р

УДК 621.43:536.7

Литвиненко В. П., Крючкова Е. Н., Берестовой И. О., Житаренко В. М.

ОБЕСПЕЧЕНИЕ УСЛОВИЙ РЕГЕНЕРАЦИИ ТЕПЛА В ПРОЦЕССАХ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ РАБОТЫ ДВИГАТЕЛЕЙ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ

Рассмотрены вопросы влияния сажистых отложений внутри цилиндра двигателя внутреннего сгорания на термодинамические процессы, в частности, на аккумуляцию теплоты ее регенерацию в процессах. Проанализированы существующие взгляды на механизм образования отложений на стенках цилиндра двигателя. Выдвинуты предположения о благоприятном, теплоизолирующем влиянии отложений на отдельные стадии термодинамических процессов в ДВС. Приведены закономерности переноса теплоты через слой сажистых отложений, а также результаты опытных испытаний с искусственными теплоизолирующими покрытиями внутренних стенок цилиндра. Исследованы имеющиеся отложения на стенках и клапанах двигателя. Сделан вывод, что отложения связаны с деструктивной карбонизацией, протекающей в процессе сгорания углеводородного топлива. Рассмотрены химические аспекты, на основании результатов исследований было сделано допущение о том, что в процессе сгорания топлива в камере создаются условия для высокотемпературного карболиза – термоллиза – высококипящих фракций топлива. Образующееся устойчивое покрытие на стенках повышает эффективность сгорания топливовоздушной смеси, что позволяет сделать допущение о целесообразности использования искусственного покрытия стенок камеры сгорания для обеспечения оптимальных условий сгорания топлива. Допускается, что, достижение эффекта связано с обеспечением быстрого прогрева вновь поступающей топливовоздушной смеси или капель топлива попавших на поверхность деталей цилиндропоршневой группы, снижением вероятности обрыва цепных реакций на поверхности стенок камеры сгорания и обеспечением регенерации теплоты из цикла горения в цикл сжатия. Проведены исследования процессов образования теплоизолирующего слоя при сжигании специальных видов топлива. Последующий перевод двигателя на обычное углеводородное топливо и снятие его рабочих характеристик позволяет сравнить влияние теплоизолирующего слоя на эффективность ДВС.

Ключевые слова: *двигатель внутреннего сгорания, сажа, отложения, теплоизолирующий слой, аккумуляция энергии, эффективность*

Введение. Из практики эксплуатации двигателей внутреннего сгорания и в особенности дизелей известно, что процессы сгорания топливовоздушной смеси сопряжены с образованием сажи, влияние которой на эффективность работы изучены недостаточно, а выводы известных исследователей оказались неоднозначными и противоречивыми.

Анализ последних исследований и постановка проблемы. В большинстве известных результатах исследований, влияние сажи рассматривается с позиций термодинамики как побочный эффект неудовлетворительного протекания процесса сгорания и не в полной мере принимается во внимание возможность регенерации тепла в цикле работы двигателя, а также не учитываются условия протекания цепных реакций горения с позиций их зарождения и гибели.

В практическом отношении сложившиеся подходы привносят некоторые ограничения на систему взглядов связанных с рассмотрением снижения удельных затрат топлива и, как следствие, воздействий на экологию.

В работах [1, 2] сажа рассматривается как естественный теплоизолятор, который образуется по мере сжигания дизельного топлива из условия 3-5 грамм на один килограмм сгоревшего топлива. В зависимости от дымности, концентрация сажи определяется из соотношения:

$$c = 565 \left(\ln \frac{10}{10 - B_s} \right)^{1.206} \quad (1)$$

где B_s – дымность по шкале Бош.

Отмечается, что образование сажи на поверхности деталей цилиндропоршневой группы при температуре более 600°C практически не наблюдается, однако при этом возникают ограничения по температурному напряжению материала, из которых они изготовлены, и стабильности смазки обеспечиваемой в пределах 220°C . Так, что устранение условий образования сажи за счет только повышения температуры в цикле работы двигателя оказывается невозможным, в связи со снижением надежности работы двигателя.

Принимая во внимание ограничения по температурному воздействию на двигатель, многие исследователи пришли к решению по использованию искусственной теплоизоляции камеры сгорания, так, чтобы обеспечивалась возможность поддержания относительно высокой температуры на поверхности теплоизолятора и, в тоже время, осуществлялась защита деталей цилиндропоршневой группы [3].

При этом, для оценки эффективности теплоизоляции использовалось понятие «термическая защита», характеризующая термическим коэффициентом:

$$R_t = \frac{\sigma}{\lambda} \quad (2)$$

где, λ - теплопроводность; σ - толщина изолирующего слоя.

В предельном случае рассматривается теоретический «адиабатный» двигатель, в котором рабочее тело не должно обмениваться со стенками теплотой, т.е. для произвольного момента рабочего цикла в котором соблюдаются следующие условия:

$$\frac{dQ_w}{d\tau} = \alpha(T_{\infty} - T_w) \cdot F_w = 0 \quad (3)$$

или

$$Q_w = \int_0^{\tau_k} \alpha(T_{\infty} - T_w) F_w d\tau = 0, \quad (4)$$

которое рассматривается с позиций соотношения между температурами поверхности стенки - T_w и рабочего тела - T_{∞} в период, так называемых холодной и горячей фаз, когда соответственно $T_w \succ T_{\infty}$ и $T_{\infty} \succ T_w$.

$$Q_{w\bar{o}\delta} = \int_0^{\tau} \alpha(T_{\infty} - T_w) F_w d\tau < 0 \quad \text{и} \quad Q_{w\bar{a}\delta} = \int_0^{\tau_2} \alpha(T_{\infty} - T_w) F_w d\tau > 0$$

Делается вывод что условие (3) или «адиабатный» цикл окажется возможным, когда $|Q_{wx\phi}| = |Q_{wz\phi}|$ или $Q_w = Q_{wx\phi} + Q_{wz\phi} = 0$. То есть при условии, когда материал стенок камеры сгорания будет обладать свойством полной регенерации теплоты. Именно по этой причине многие исследователи пришли к выводу о возможном создании двигателей с низкими интегральными тепловыми потерями или с уменьшенным отводом теплоты, [3].

Такие подходы привели к рассмотрению возможной организации рабочего цикла двигателя при условии применения искусственной теплоизоляции поверхности днища поршня и крышки цилиндра. В качестве теплоизолятора использовались воздух в оболочке из нимоника и керамика, обладающие высокой термической стойкостью и обеспечивающие высокую температуру на поверхности деталей камеры сгорания до 700°C . При такой температуре образование сажи и нагара на поверхности деталей цилиндропоршневой группы исключалось. Однако, анализ таких конструктивных схем, выполненный Вошни, показал, что при сплошном покрытии деталей цилиндропоршневой группы теплоизоляцией не обеспечивается повышение коэффициента полезного действия двигателей и приводит к повышению удельного расхода топлива, что объясняется конвективным всплеском (convection vive). Именно за счет такого конвективного всплеска происходит повышение температуры металлических стенок, покрытых искусственной теплоизоляцией, что и объясняет повышение потерь теплоты. При этом им было установлено, что «конвективный всплеск» наблюдается при температуре стенок более 600°K , $T_w > 600^{\circ}\text{K}$. В этом случае, коэффициент теплопроводности - α значительно возрастает, в тоже время, при $T_w < 600^{\circ}\text{K}$, коэффициент α существенно не изменяется.

Цель работы. Принимая во внимание отмеченные особенности, в целях повышения эффективности работы двигателя за счет использования регенерируемого тепла и создания оптимальных условий для протекания цепных реакций, целью работы является исследование влияние покрытий образованных за счет сгорания в цилиндре двигателя диметилсульфоксида, в смеси с глицерином и искусственных перфорированных покрытий.

Изложение основного материала. Постановка задачи основывалась на результатах наблюдений над особенностями образования отложений на поверхности камеры сгорания дизельных двигателей и изучении их свойств. В частности, см. рис. 1, рассматривались отложения на поверхности тарелки выпускного клапана и сажа. Установлено что отложения на клапане, также как сажа не обладают электрической проводимостью, что позволило сделать вывод об образовании в камере сгорания некоторых участков, где фронт пламени обладает наилучшими условиями развития и распространения. Отдельные же участки камеры сгорания, при отсутствии защитной поверхности ограничивают возможность его развития у стенки цилиндра.



Рисунок 1 – Отложения на поверхности тарелки клапана, фрагмент замера проводимости сажи

Исследуя образование отложений и сажи на поверхности деталей камеры сгорания можно отметить, что в основном они связаны с образованием продуктов неполного сгорания топлива. В особенности такое положение характерно для мазутов, где такими продуктами являются асфальтены и карбоиды, образующиеся в деструктивной карбонизации, протекающей в процессе сгорания углеводородного топлива. При этом за счет выгорания из топлива летучих и легких компонентов, содержащих большое количество водорода, увеличивается содержание в нем углеродистых соединений.

Химический аспект карбонизации обычно описывается последовательностью процессов термодеструкции, полимеризации и поликонденсации. С наибольшей вероятностью можно допустить, что в рассматриваемом случае наблюдается процесс поликонденсации серы с незамещенными ароматическими углеводородами, который представляет один из наиболее доступных методов синтеза полиариленов с дисульфидными связями. Продуктами поликонденсации являются среди прочих дифенилсульфид и дифенилдисульфид, тиантрен, тиофенол. При нагревании этих продуктов до 180 – 250⁰С образуются полимерные высокоплавкие кристаллические порошки с температурой размягчения от 340⁰С и температурой деструкции выше 600⁰С. Полимер образуется в результате внутримолекулярной циклизации фениленсульфидных звеньев с преимущественным образованием структур тиантренового типа. Причем выход серы возрастает с увеличением количества серы в топливе, [4]. На основании результатов исследований нами было сделано допущение о том, что в процессе сгорания топлива в камере сгорания создаются условия для высокотемпературного карболиза – термолиза – высококипящих фракций топлива. В присутствии серы становятся возможными реакции конденсации сложных ароматических соединений с серой, в конечном результате которой образуются полностью сконденсированные карбены, карбоиды, прошитые сульфидными и дисульфидными мостиками. Эти соединения откладываются на поверхности тарелки клапана, крышке цилиндров и днище поршня в виде отложений и нагаров.

Для воспроизведения подобной ситуации допускалось сжигание углеводородного топлива с высоким содержанием серы в двигателе. Однако растворить большое количество серы в дизельном топливе не представлялось возможным. В силу ряда причин – неприятный запах, кислотные свойства и способность тормозить реакции, протекающие по свободно радикальному механизму – невозможно использовать в качестве повышающих содержание серы добавок тиолы. Поэтому, для достижения цели был предложен диметилсульфоксид (ДМСО), содержащий 41 % серы в составе молекулы.

Механизм сгорания ДМСО изучен плохо. Но общеизвестно, что процессы горения протекают по свободно радикальному механизму через образование активных реакционноспособных частиц. Возможно, они явятся инициаторами процессов поликонденсации высокомолекулярных ароматических компонентов топливных смесей.

Вещество, сжигаемое в ДВС, должно обладать физико-химическими свойствами дизельного топлива. Чистый ДМСО обладает низкой вязкостью и высокой температурой застывания. По этой причине для приближения показателей к показателям дизельного топлива в ДМСО добавлялась 1/10 и 1/5 объема глицерина. Глицерин был выбран из-за дешевизны и доступности, так как он является побочным продуктом в процессе синтеза биодизельного топлива. Некоторые физико-химические характеристики полученных смесей представлены в таблице 1.

Таблица 1- Физико-химические свойства смесей ДМСО с глицерином

Смесь	Кинемат. вязкость. 20 ⁰ С, сСт	Кинемат. вязкость. 40 ⁰ С, сСт	Темп. вспышки, з.т. ⁰ С	Темп. помутнения. ⁰ С	Темп. заст. ⁰ С
ДМСО	-	1,4	89	-	18,45
9об ДМСО 1об. глицерин	3,60	2,16	125	11	3
8 об ДМСО 2об. глицерин	6,90	3,92	-	-	-

По физико-химическим показателям для эксперимента была выбрана смесь, содержащая 1 объем глицерина и 9 объемов ДМСО. Массовое содержание серы в такой смеси составляет 36,39 %.

Свойства нагара таковы, что он обеспечивает с одной стороны тепловую изоляцию горящего пламени от контакта с холодной поверхностью, а с другой стороны определяет электрический потенциал на поверхности деталей цилиндропоршневой группы. Эксперименты показали, что нагар и отложения на выпускном клапане практически однородны по всей поверхности, являются плохим проводником теплоты и практически не проводят электрический ток.

По нашему мнению, эти свойства повышают эффективность сгорания топливовоздушной смеси, что позволяет сделать допущение о целесообразности использования искусственного покрытия стенок камеры сгорания, которое обеспечило бы оптимальные условия сгорания топлива. Вероятно, достижение эффекта будет связано с обеспечением быстрого прогрева вновь поступающей топливовоздушной смеси или капель топлива попавших на поверхность деталей цилиндропоршневой группы, снижением вероятности обрыва цепных реакций на поверхности стенок камеры сгорания и обеспечением регенерации теплоты из цикла горения в цикл сжатия.

С учетом теплообмена в цикле работы двигателя, при протекании процессов наполнения цилиндра зарядом воздуха, сжатия, смесеобразования и воспламенения можно сформулировать требования к свойствам материала используемого для покрытия деталей камеры сгорания, рис. 2. К таким требованиям можно отнести высокую теплоаккумулирующую способность, низкую теплопроводность и высокую термическую и механическую прочность.

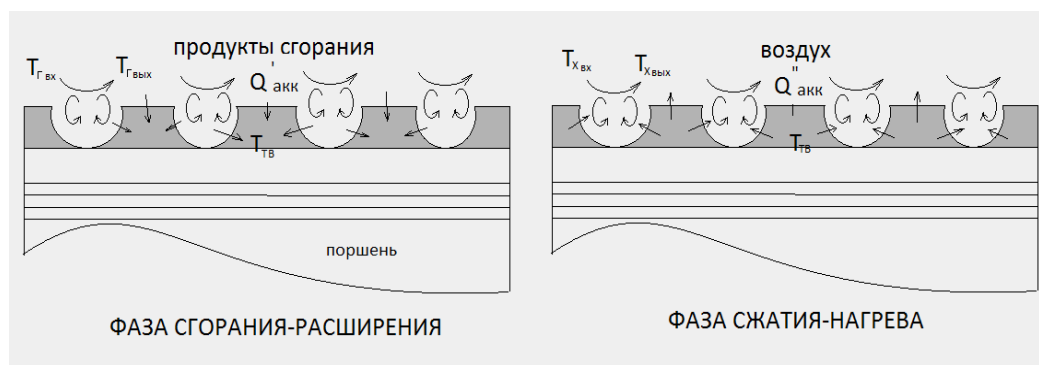


Рисунок 2 – Схема аккумуляции тепла

Енергетичні системи та обладнання

Характеристиками аккумуляруючої способности материала являются следующие показатели [1,5]:

Параметры теплопередачи - $\theta = \frac{\alpha \cdot k \cdot F}{G \cdot C_p}$, где α - коэффициент теплопередачи; F -

площадь крышки и днища поршня; k - коэффициент перфорации; G - количество газов, омывающих перфорированную поверхность.

Относительная температура - $\bar{T} = \frac{T - T_{x.vx}}{T_{m.vx} - T_{x.vx}}$, где T - температура теплоносителя,

температура газов. Индексы $г, х, vx$ - параметры горячего и холодного теплоносителей на входе в материал аккумулятора.

Средняя относительная температура на выходе - $\bar{T} = \int_0^{\tau} T_{\bar{\theta}}(\tau) d\tau$

Эффективность использования теплоаккумулирующего материала U - $U = W_x \cdot \bar{T}$, где W_x - полная теплоемкость воздуха.

Эффективность регенерации тепла - $R = \frac{W_m \cdot \bar{T}}{W_2}$, где W_m, W_2 - полная теплоемкость

покрытия как аккумулятора тепла и газов.

Для достижения максимального количества аккумулируемой энергии необходимо подобрать свойства таковыми, чтобы показатель эффективности аккумулятивного тепла - (K) был максимальным:

$$K = \frac{U}{R} = \frac{W_2}{W_m} \Rightarrow \max$$

Принимая во внимание сделанные допущения, на кафедре планируется проведение серии экспериментов по рассматриваемому направлению использованием одноцилиндрового дизельного двигателя рис. 3.



Рисунок 3 – Одноцилиндровый четырехтактный дизельный двигатель для проведения исследований

В основу экспериментов положены выводы, сделанные в рамках настоящей статьи.

ВЫВОДЫ

1. С целью сокращения затрат времени на проведение эксперимента, образование отложений на поверхности деталей цилиндропоршневой группы может быть обеспечено за счет использования в качестве топлива смеси диметилсульфоксида и глицерина.
2. После кратковременного сжигания отмеченной смеси, предусматривается использование стандартного топлива для проверки эффекта от образовавшихся на поверхности камеры сгорания отложений на процесс сгорания, что обеспечит возможность получить оценочные характеристики по часовому расходу топлива и температуре.
3. При разборке двигателя осуществлена оценка поверхности днища поршня на предмет равномерности отложений, с целью выявления мест наибольшей их концентрации, что даст возможность выполнить перфорационное покрытие (углерод содержащие материалы, керамика) с учетом характера распыла топлива.
4. После перфорирования деталей цилиндропоршневой группы, двигатель введен в обычный режим работы на стандартном топливе и сняты характеристики часового расхода топлива и температура поверхности стенок цилиндра.
5. Сопоставлением полученных результатов представится возможным установить эффект от принимаемых решений, направленных на совершенствование процессов сгорания.

Список использованных источников:

5. *Старомодский, М. В.* Оптимизация температурного состояния деталей дизельных двигателей / *М. В. Старомодский, Е. А. Максимов.* – Киев : Наук. думка, 1987. – 247 с.
6. *Элементы САПР ДВС / Р. М. Петриченко [и др.]*. – Л., 1990. – 125 с.
7. *Кавтарадзе, Р. З.* Локальный теплообмен в поршневых двигателях : учеб. пособие для вузов / *Р. З. Кавтарадзе.* – М. : Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2001. – 592 с.
8. *Неделькин, В. И.* Органические полимеры на основе элементной серы и ее простейших соединений / *В. И. Неделькин, Б. А. Зачернюк, О. Б. Андрианова* // Российский химический журнал. – 2005. – Т. XLIX, № 6. – С. 3–10.
9. *Левенбер, В. Д.* Аккумуляирование тепла / *В. Д. Левенберг.* – К: Техника, 1991. – 112 с.

Литвиненко В. П., Крючкова О. М., Берестовий І. О., Житаренко В. М.

ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ УМОВ РЕГЕНЕРАЦІЇ ТЕПЛА У ПРОЦЕСАХ ВДОСКОНАЛЕННЯ РОБОТИ ДВИГУНІВ ВНУТРІШНЬОГО ЗГОРЯННЯ

Розглянуто питання впливу сажістих відкладень усередині циліндра двигуна внутрішнього згоряння на термодинамічні процеси, зокрема, на акумулювання теплоти її регенерацію в процесах. Проаналізовано існуючі погляди на механізм утворення відкладень на стінках циліндра двигуна. Висунуто припущення про сприятливому, теплоізолюючому впливу відкладень на окремі стадії термодинамічних процесів в ДВС. Наведено закономірності перенесення теплоти через шар сажістих відкладень а так само результати дослідних випробувань з штучними теплоізоляційними покриттями внутрішніх стінок циліндра. Досліджено наявні відкладення на стінках і клапанах двигуна. Зроблено висновок, що відкладення пов'язані з деструктивною карбонізацією, що протікає в процесі згоряння вуглеводневого палива. Розглянуто хімічні аспекти, на підставі результатів

Енергетичні системи та обладнання

досліджень було зроблено припущення про те, що в процесі згоряння палива в камері створюються умови для високотемпературного карболіза - термоліза - висококиплячих фракцій палива. Утворюється стійке покриття на стінках підвищує ефективність згоряння паливоповітряної суміші, що дозволяє зробити припущення про доцільність використання штучного покриття стінок камери згоряння для забезпечення оптимальних умов згоряння палива. Допускається, що, досягнення ефекту пов'язано із забезпеченням швидкого прогрівання знову надходить паливо-повітряної суміші або крапель палива потрапили на поверхню деталей циліндро поршневої групи, зниження ймовірності обриву ланцюгових реакцій на поверхні стінок камери згоряння і забезпеченням регенерації теплоти з циклу горіння в цикл стиснення. Проведено дослідження процесів утворення теплоізолюючого шару при спалюванні спеціальних видів палива. Наступний переклад двигуна на звичайне вуглеводневе паливо і зняття його робочих характеристик дозволяє порівняти вплив теплоізолюючого шару на ефективність ДВС.

Ключові слова: двигун внутрішнього згоряння, сажа, відкладення, теплоізолюючий шар, акумулювання енергії, ефективність

Litvinenko V. P., Kryuchkova E. N., Berestovoy I. O., Zhitarenko V. M.

ENSURING THE CONDITIONS OF HEAT REGENERATION IN THE PROCESS OF IMPROVING THE WORK OF ENGINES INTERNAL COMBUSTION

The questions of the influence of soot deposits inside the cylinder of an internal combustion engine on thermodynamic processes, in particular, on the accumulation of heat and its regeneration in the processes, are considered. The existing views on the mechanism of formation of deposits on the walls of the engine cylinder are analyzed. Assumptions about the favorable, insulating effect of deposits on individual stages of thermodynamic processes in internal combustion engines have been put forward. The patterns of heat transfer through a layer of sooty deposits are presented, as well as the results of experimental tests with artificial insulating coatings on the inner walls of the cylinder. Examined deposits on the walls and valves of the engine. It is concluded that the deposits are associated with destructive carbonization occurring during the combustion of hydrocarbon fuels. The chemical aspects are considered, based on the results of the research it was assumed that in the process of fuel combustion in the chamber conditions for high-temperature carbolysis are created - thermolysis - high-boiling fractions of the fuel. The resulting stable coating on the walls increases the efficiency of combustion of the air-fuel mixture, which allows us to make an assumption about the feasibility of using artificial coating for the walls of the combustion chamber to ensure optimal conditions for the combustion of fuel. It is assumed that the achievement of the effect is associated with ensuring rapid warming of the newly arriving air-fuel mixture or fuel droplets falling on the surface of parts of the piston-piston group, reducing the likelihood of chain reactions on the surface of the combustion chamber and providing heat recovery from the combustion cycle to the compression cycle. Studies of the formation of a heat insulating layer by burning special types of fuel have been carried out. The subsequent transfer of the engine to conventional hydrocarbon fuel and the removal of its performance makes it possible to compare the effect of the heat insulating layer on the efficiency of the engine.

Keywords: internal combustion engine, soot, sediment, heat insulating layer, energy storage, efficiency

Рецензент: проф., д-р техн. наук Маслов В. А.

Стаття надійшла 29.10.2018 р.

УДК 621.18

Житаренко В. М., Медведєва М. В.

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ДОМЕННОГО ГАЗА В ПАРОГЕНЕРАТОРАХ ТЭЦ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ ПРЕДПРИЯТИЙ

Рост стоимости энергоресурсов, в частности, природного газа повышает актуальность использования вторичных энергоресурсов. Достаточно высокий потенциал на металлургических предприятиях остается за доменным газом. Сжигание доменного газа в котлах промышленных ТЭЦ металлургических предприятий характеризуется низкой эффективностью. Прежде всего, это связано с существенной балластной составляющей, которая предопределяет высокие потери при сжигании. В статье проанализированы причины и существующие пути решения проблемы повышения эффективности использования доменного газа как топлива для котельных агрегатов ТЭЦ. Рассмотрены реализованные мероприятия на ТЭЦ ЧАО «МК «Азовсталь», ЧАО «ММК им. Ильича», «Запорожсталь» и др. К подобным мероприятиям относятся адаптированные горелочные устройства, подогреватели доменного газа и воздуха. При существенных затратах эти мероприятия дают относительно небольшой прирост эффективности. Практически на всех металлургических комбинатах с полным циклом имеются избытки технического кислорода, который можно эффективно использовать для обогащения горелочного воздуха. Выполнен сравнительный анализ различных мероприятий. Представлены зависимость величины прироста КПД котла от содержания кислорода в горелочном воздухе. Оптимизационные расчеты позволили определить зависимость относительной себестоимости получаемого в котлах пара от содержания и стоимости технического кислорода. Сделан вывод, что эффективность обогащения воздуха кислородом определяется стоимостью технического кислорода.

Ключевые слова: *вторичные энергоресурсы, доменный газ, эффективность сжигания, балласт, котельный агрегат, КПД, горелка, уходящие газы, потери, воздух, кислород, обогащение*

Введение. В связи с постоянным ростом стоимости природного газа проблема поиска дешевого топлива становится все актуальней. На металлургических предприятиях, таких как ЧАО «МК «Азовсталь», ЧАО «ММК им. Ильича», «Запорожсталь», ДМЗ, Алчевский, Днепродзержинский, Криворожский металлургические комбинаты и ряде других с полным металлургическим циклом, широко используется доменный газ. Его доля в общей потребности газообразного топлива достигает 80÷90 %. Основными потребителями являются воздухоподогреватели и нагревательные печи прокатного производства. Энергетические котлы ТЭЦ, ПЭВС, ПВС выступают в роли буферных потребителей. Немалая доля доменного газа сжигается на свече. С сокращением производства готового проката, ростом стоимости природного газа и его дефицитностью, которые наблюдаются повсеместно в последние годы, доля высвобождаемого доменного газа растет, а его роль как буферного топлива сглаживается.

В настоящее время доля доменного газа в котельном топливе составляет 85÷90 %, и имеется тенденция для дальнейшего роста до 95 %.

Несмотря на то, что объемы доменного газа таковы, что способны покрыть нужды в топливных ресурсах на металлургических комбинатах, доменный газ значительно дешевле других топлив, его эффективное использование продолжает оставаться актуальной задачей.

Цель работы. Проблемы использования доменного газа известны [1]: низкая калорийность с вытекающими из этого последствиями

- низкая температура горения;
- высокий химический недожог;
- большие объемы продуктов сгорания и др.

Прежде всего, это касается доменного газа, сжигаемого в котлах металлургических ТЭЦ совместно с другими видами топлива, так как они относятся к вспомогательным цехам и снабжаются высококалорийным природным газом по остаточному принципу [1].

Доменный газ как топливо для энергетических котлов имеет ряд особенностей. В составе его большое количество балласта: до 12÷15 % CO_2 и 55÷60 % азота. Это является причиной его низкой калорийности и большого объема уходящих газов.

Котельные агрегаты металлургических ТЭЦ использующие доменный газ, весьма разнообразны. Это преимущественно адаптированные твердотопливные котлы 50-80 годов прошлого века: ЦКТИ-75-39Ф1, ТП-150-2, ТО-2, ТКЗ-120, ЛМЗ-90, ПК-14-2М, БКЗ-75, ТП-220, и ряд других. Эти котлы на доменном газе работают условно удовлетворительно, хотя в арсенале разработок имеются котлы, специально спроектированные для работы на доменном газе: ТГ-159 СО и др.

Работа твердотопливных котлов на низкокалорийном доменном газе характеризуется прежде всего тем, что практически никогда не достигается номинальная производительность (60÷80 % от номинальной). Значения КПД при этом составляют 84÷87 %. Для стабилизации работы котлов к доменному газу подмешивают природный или коксовый газы.

Причина низкой производительности в том, что температура в топке составляет 1200÷1400°С, и, несмотря на то, что температура на выходе из топки выше расчетной (1100÷1200°С), испарительные поверхности нагрева вырабатывают недостаточное количество пароводяной смеси. Тепловая нагрузка перераспределена в сторону конвективной шахты, что ведет к росту температуры перегрева, температуры горячего воздуха, увеличению доли пара в пароводяной смеси на выходе из экономайзера. Пароохладители, установленные на котлах имеют максимальное тепловосприятие 80÷120 кДж/кг, чего с повышением доли доменного газа недостаточно для компенсации избыточного перегрева. Таким образом, без радикальной перекомпоновки котла проблему решить не удастся.

Анализ последних исследований и постановка проблемы. Известен ряд работ посвященных повышению эффективности использования доменного газа как самостоятельно, так и в смеси природным и коксовым газами в котельном оборудовании [3, 4].

Попытки эффективно сжигать смесь доменного и природного газов привели к созданию многотопливных горелок с изменением положения ядра факела (саморегулируемые) [2]. Это частично сняло проблему высокого перегрева и недожога, однако решить проблему низкого КПД не удалось.

Другим путем явились разработки, направленные на интенсификацию топочных процессов горения путем подогрева не только воздуха, но и доменного газа.

В ряде последних разработок - повышение температуры доменного газа путем подогрева в автономных регенеративных и рекуперативных газоподогревателях, использующих как теплоту уходящих газов, так и внешние источники. Так в работе [5] предлагается для котлов ТП-150 установка автономного регенеративного подогревателя (АРП) доменного газа. Газ подогревается до 600°С в АРП с КПД 0.8, что позволит поднять

КПД котла на 3.5-4 %. Вызывает сомнения как сама возможность реализации подогрева в АРП небезопасного доменного газа до 600 °С, так и возможность повышения КПД, точнее в данном случае, коэффициента использования топлива. Если определять КПД только котла ТП-150, то, несомненно, он возрастет. Однако для получения дополнительной теплоты доменного газа потребуется сжигать топливо с КПД 80 % (т.е. ниже, чем у котла), а, следовательно, коэффициент использования топлива понизится. Вызывает также сомнения возможность глубокого охлаждения уходящих газов в конвективной шахте без радикальной реконструкции хвостовых поверхностей. Считается более эффективным применение встроенного в котел подогревателя доменного газа [4, 5], и хотя температура подогрева не превышает 150÷200 °С, это позволит заметно повысить КПД котла, а применение подогревателя с промежуточным теплоносителем - повысит безопасность. Было бы эффективным понижения температуры уходящих газов путем применения оребренных хвостовых поверхностей, однако наличие доменной пыли снизит их эффективность и надежность.

Изложение основного материала. Проблему снижения производительности котла при увеличении доли доменного газа все эти мероприятия не решают. Эта проблема имеет те же корни что и проблема низкого КПД - низкая калорийность – низкая температура горения – большой объем отходящих газов.

Проблема низкого КПД котла - в балласте топливо-воздушной смеси. Оценочные расчеты позволяют получить относительные доли балластных составляющих в уходящих газах за счет присосов, балласта организованного дутьевого воздуха и балласта доменного газа (в качестве балластных составляющих учитывался азот и углекислый газ):

- балласт присосов: N_2 – 10-15 %, CO_2 - 0 %;
- балласт с воздухом: N_2 – 40-55 %, CO_2 - 0 %;
- балласт с доменным газом: N_2 – 20-25 %, CO_2 – 10-20 %.

Очевидное решение проблемы заключается в снижении балластной составляющей доменного газа - удалении, снижении CO_2 , N_2 , а, равно как и воздуха. Однако удалять балластные газы из доменного газа или воздуха каким-либо известным химическим или физическим способом в промышленных масштабах либо невозможно, либо очень дорого.

Одним из способов снижения доли балласта в продуктах сгорания котлов металлургических ТЭЦ при сжигании низкокалорийного доменного газа является обогащение воздуха кислородом.

На современных металлургических предприятиях имеется избыток так называемого технического кислорода, непригодного для продувки конверторов. Его можно использовать для обогащения воздуха, подавая в горелки котлов. Оценочные расчеты показали, что в любом случае повышение содержания кислорода в топливо-воздушной смеси приводит к улучшению процессов горения и теплообмена в котлах. Так на каждый процент увеличения содержания кислорода в дутьевом воздухе температура горения доменного газа повышается на 35°С, снижается температура на выходе из топки и объемы продуктов сгорания.

На рисунке 1 показана зависимость относительного снижения объемов воздуха и уходящих газов от содержания кислорода в дутьевом воздухе.

Поскольку прирост КПД котла с увеличением степени обогащения снижается, имеет смысл говорить об оптимальном содержании кислорода в топливо-воздушной смеси. Оптимальное содержание кислорода в смеси будет определяться, в первую очередь, соотношением затрат на обогащение (стоимостью кислорода) и экономией топлива, вследствие повышения КПД. Очевидно, что применение обогащения приводит к увеличению эксплуатационных затрат на производство пара в себестоимости. Однако прирост КПД и производительности котлов позволит говорить о некоторой экономии. Хотя в случае использования только дешевого доменного газа, объемы которого на металлургических

Енергетичні системи та обладнання

комбинах не лимитовані, а частина сжигается на свечах, говорить об економії можна за рахунок зниження затрат електроенергії на власні потреби і «витеснення» з парового балансу джерел, працюючих на більш дорогій паливі або з більш низьким КПД. Урахування останніх двох факторів достатньо проблематичне.

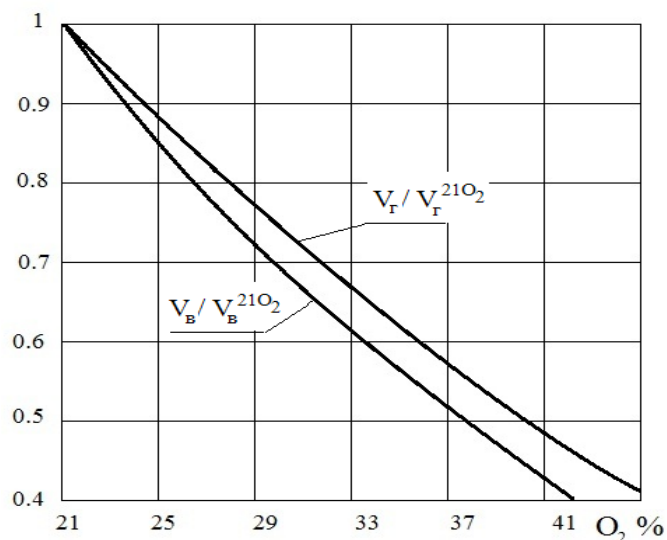


Рисунок 1 – Залежність відносного зниження об'ємів повітря і уходячих газів від вмісту кисню в горючому повітрі

На рисунку 2 показана залежність величини прироста КПД котла від вмісту кисню в дутьовому повітрі.

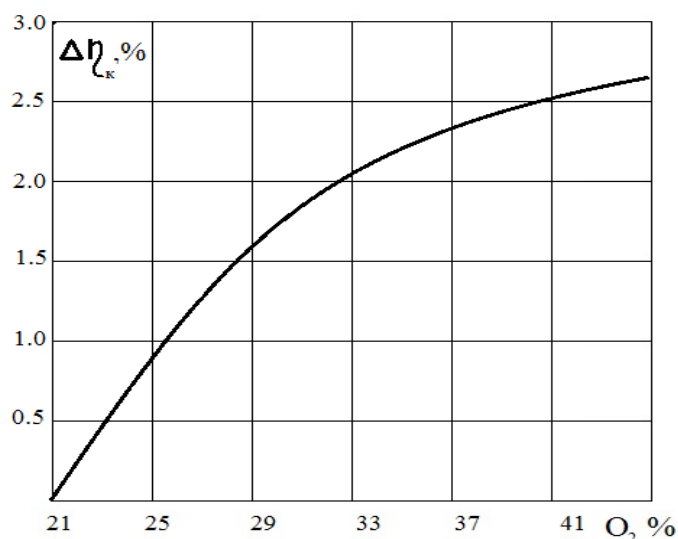


Рисунок 2 – Залежність величини прироста КПД котла від вмісту кисню в горючому повітрі.

Енергетичні системи та обладнання

Оценочные расчеты экономии показали, что при стоимости кислорода около 500 грн/тыс. м³ и доменного газа 150 грн/тыс. м³, оптимальная величина содержания кислорода в дутьевом воздухе составляет 30-34 %.

На рисунке 3 представлена зависимость относительной себестоимости пара от содержания кислорода в дутьевом воздухе.

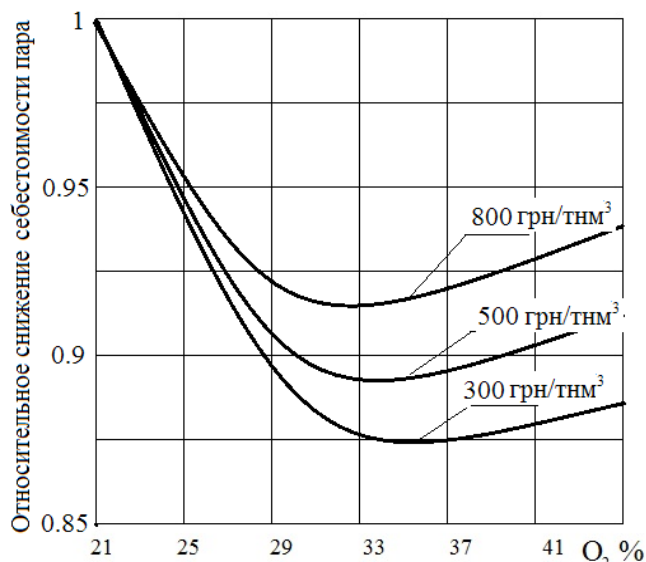


Рисунок 3 – Зависимость относительной себестоимости пара от содержания и стоимости технического кислорода

Переход доменного производства на пылеугольное вдувание, которое уже широко внедрено во многих странах, таких как США, Германия, Китай, и только разворачивается на металлургических комбинатах Украины, существенно изменит топливный баланс металлургических комбинатов в сторону снижения выхода доменного газа и, возможно, его калорийности. Изменение топливно-энергетических балансов металлургических комбинатов повлечет не только изменение в энергетической ценовой политике, но и приведет к внедрению более перспективных технологий, таких как получение синтез-газа, парогазовые технологии и др.

ВЫВОДЫ

1. Исходя из имеющегося опыта внедрения мероприятий по повышению эффективности использования доменного газа на металлургических ТЭЦ относительно несложными техническими мероприятиями добиться высокой эффективности не удалось.

2. Наличие на металлургических комбинатах некоторого избытка технического кислорода позволит решить проблему низкой эффективности сжигания доменного газа в комплексе с другими мероприятиями.

3. Существенная стоимость технического кислорода предопределяет оптимальную степень обогащения горелочного воздуха для котлов ТЭЦ.

4. Оптимальная степень обогащения воздуха для котлов ТЭЦ на доменном газе при сложившемся соотношении цен составляет 28÷33 %.

Список использованных источников:

Енергетичні системи та обладнання

1. Маслов, В. И. Эксплуатация котельных агрегатов в черной металлургии / В. И. Маслов. – М. : Металлургия, 1965. – 296 с.
2. Пути рационального использования доменного газа на ТЭЦ металлургических предприятий / Э. О. Цкитишвили [и др.] // Металлургическая теплотехника / НМетАУ. – Днепропетровск. – 2002. – Т. 5. – С. 116–121.
3. Применение многотопливных плоскофакельных горелок для обеспечения расчетных параметров котлов ТЭЦ металлургических заводов [Текст] / Е. К. Чавчанидзе [и др.] // Промышленная энергетика. – 1982. – №7. – С. 58–61.
4. Повышение эффективности работы промышленных парогенераторов на доменном газе [Текст] / Э. О. Цкитишвили [и др.] // Металлургическая и горнорудная промышленность. – 2004. – № 6. – С. 95–98.
5. Тепловой расчет котельных агрегатов (нормативный метод) [Текст] / Н. В. Кузнецов [и др.]. – М. : ЭКОЛИТ, 2011. – 296 с.

Житаренко В. М., Медведєва М. В.

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ДОМЕННОГО ГАЗА В ПАРОГЕНЕРАТОРАХ ТЕЦ МЕТАЛУРГІЙНИХ ПІДПРИЄМСТВ

Зростання вартості енергоресурсів, зокрема, природного газу підвищує актуальність використання вторинних енергоресурсів. Досить високий потенціал на металургійних підприємствах залишається за доменним газом. Спалювання доменного газу в котлах промислових ТЕЦ металургійних підприємств характеризується низькою ефективністю. Перш за все, це пов'язано з істотною баластною складовою, яка зумовлює високі втрати при спалюванні. У статті проаналізовано причини та існуючі шляхи вирішення проблеми підвищення ефективності використання доменного газу як палива для котельних агрегатів ТЕЦ. Розглянуто реалізовані заходи на ТЕЦ ПАТ «МК «Азовсталь», ПАТ «ММК ім. Ілліча», Запоріжсталь і ін. До подібних заходів належать адаптовані пальники, підігрівачі доменного газу та повітря. При істотних витратах ці заходи дають відносно невеликий приріст ефективності. Практично на всіх металургійних комбінатах з повним циклом є надлишки технічного кисню, який можна ефективно використовувати для збагачення горіланого повітря. Виконано порівняльний аналіз різних заходів. Представлені залежність величини приросту ККД котла від вмісту кисню в пальниковому повітрі. Оптимізаційні розрахунки дозволили визначити залежність відносної собівартості одержуваного в котлах пара від змісту і вартості технічного кисню. Зроблено висновок, що ефективність збагачення повітря киснем визначається вартість технічного кисню.

Ключові слова: вторинні енергоресурси, доменний газ, ефективність спалювання, баласт, котельний агрегат, ККД, пальник, відхідні гази, втрати, повітря, кисень, збагачення

Zhytarenko V. M., Medvedieva M. V.

IMPROVING THE EFFICIENCY OF USE OF BLAST FURNACE GAS IN THE STEAM BOILERS OF TPP METALLURGICAL ENTERPRISES

The rising cost of energy, in particular natural gas, increases the urgency of using secondary energy. Sufficiently high potential at metallurgical enterprises remains for blast furnace gas. Incineration of blast furnace gas in the boilers of industrial CHP of metallurgical enterprises is characterized by low efficiency. First of all, this is due to the significant ballast component, which predetermines high losses during combustion. The article analyzes the reasons and the

Енергетичні системи та обладнання

existing ways to solve the problem of increasing the efficiency of using blast furnace gas as fuel for boiler units of thermal power plants. Considered implemented activities at the CHP PJSC “MK “Azovstal”, PJSC “MMK im. Ilyich”, Zaporizhstal and others. Such measures include adapted burner devices, blast furnace gas and air heaters. At substantial costs, these activities provide a relatively small increase in efficiency. Almost all metallurgical plants with a full cycle have an excess of technical oxygen, which can be effectively used to enrich the burner air. A comparative analysis of various activities. The dependence of the increase in boiler efficiency on the oxygen content in the burner air is presented. Optimization calculations made it possible to determine the dependence of the relative cost of steam produced in boilers on the content and cost of technical oxygen. It is concluded that the efficiency of air enrichment with oxygen is determined by the cost of technical oxygen.

Keywords: secondary energy resources, blast furnace gas, combustion efficiency, ballast, boiler unit, efficiency, burner, exhaust gases, losses, air, oxygen, enrichment

Рецензент: проф., д-р техн. наук Маслов В. А.
Стаття надійшла 29.10.2018 р.

УДК 620.9(078.6)

Житаренко В. М., Циганов В. І., Науменко М. Д., Науменко С. Д.

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ЕНЕРГОРЕНОВАЦІЇ ЖИТЛОВИХ БУДИНКІВ

Проблема енергетичної реновації житлових та суспільних будівель стає все більш актуальною по мірі зростання вартості енергоресурсів. На проведення енергореновації житлового фонду використовують як кошти міського або державного бюджету, так і залучення коштів міжнародних фондів та гранти. У статті зроблена спроба розробити оптимальну стратегію використання наявних коштів, які виділені для проведення енергетичної реновації. Методика, яка запропонована, дозволяє виявити пріоритети проведення заходів щодо поліпшення енергоефективності та ресурсозбереження житлового фонду. Проведено аналіз даних на підставі статистичної обробки енергоспоживання житлового фонду по електричній енергії, теплу для опалення, гарячого та холодного водопостачання, постачання побутового газу. Розроблено алгоритм обробки статистичної інформації в середовищі Excel. Завдання вибору оптимальної стратегії вирішується за допомогою математичної моделі лінійного програмування. Параметрами лінійної моделі є коефіцієнти пайового використання відповідного енергоресурсу: теплової енергії, природного газу і води споживачем. Критерієм оптимального рішення прийнятий максимальний грошовий ефект від реновації в реальному і в прогнозованому часі. На основі отриманих в результаті розрахунків коефіцієнтів ранжування, були зроблені висновки по необхідності та першочерговості застосування енергозберігаючих заходів. Визначено вплив енергозберігаючих заходів на показники ресурсозбереження та енергоефективності житлових будинків різних років будівництва і поверховості. Алгоритм також дозволяє визначити економію енергоресурсів завдяки проведенню енергореновації.

Ключові слова: енергоресурс, споживач, витрати, заміна, модернізація, ефективність, економічний показник, лінійне програмування, пайові коефіцієнти, грошовий ефект.

Вступ. Підвищення енергоефективності ЖКГ послуг сьогодні, природно, актуально, і основний курс розвитку української економіки орієнтований на використання ресурсозберігаючих та енергозберігаючих технологій, матеріалів і обладнання в усіх сферах економіки. Необхідність вирішення цього завдання визначається державною політикою в галузі енергозбереження, а її успішне рішення обумовлює необхідність розробки концептуальних, методичних і організаційних рішень, адекватних вимогам держави і населення, в умовах ринків, що формуються комунальних послуг та енергоресурсів.

Постановка задачі. Визначити кількість будинків і пріоритетність застосування до них енергозберігаючих заходів за допомогою лінійного програмування в середовищі Excel з урахуванням обмеженої кількості грошових коштів (інвестицій).

Аналіз останніх досліджень і постановка проблеми. У Маріуполі є будинки і дореволюційні, і радянських часів, і будинки, побудовані в пострадянський час, після 1992 року. В даний час в місті налічується більше тисячі багатоквартирних будинків. Значну частину житлового фонду - близько 300 будинків (35 % від усього житлового фонду) складають цегляні і блокові будинки 1957-1980 рр. споруди - це так звані «хрущовки». Крім того, істотна частка будинків будівлі до 1957 року («сталінки»), які до теперішнього часу капітально не ремонтвані (таких будинків в місті більше 150). Є будівлі, офіційно визнані старими. Сучасні панельні і цегляні багатоквартирні будинки, а їх у місті понад 400, становлять 52 % від загальної кількості будинків. Значна частина з них вже потребує капітального ремонту та ремонту інженерних систем і будівельних конструкцій [1].

Близько 15 % багатоквартирних будинків мають відсоток зносу понад 60 % і вимагають проведення капітального ремонту будівельних конструкцій та інженерного обладнання. Не вимагають значних витрат, пов'язаних з проведенням капітального ремонту, лише 20 % багатоквартирних будинків Маріуполя.

Дореволюційні і довоєнні будівлі в місті складають незначну частину, в основному в центральній частині міста, вони також мають погану термоізоляцію (або не мають її зовсім): взимку в них холодно, стіни в сильні морози промерзають, так само як в блокових будинках, які будували в основному в 80-90-ті роки.

За останні 15 років частка цегляно-монолітних будинків зростає. У цих будинках внутрішня частина стіни - монолітний бетон, а другий, зовнішній, зовнішній шар - цегла. Зростає і частка цегляно-монолітних будинків з вентиляльованими фасадами. Такі будинки тепліші, будинок «дихає», але таких будинків в місті одиниці.

Підвищення енергоефективності житлово-комунальних послуг сьогодні, безумовно, актуально, основний курс розвитку української економіки орієнтований на використання ресурсозберігаючих та енергозберігаючих технологій, матеріалів і устаткування у всіх секторах економіки. Необхідність вирішення цього завдання визначається державною політикою в галузі енергозбереження, а її успішне рішення обумовлює необхідність розробки концептуальних, методичних і організаційних рішень, адекватних вимогам держави і населення, в умовах ринків, що формуються комунальних послуг, а також енергоресурсів.

Мета і завдання дослідження. Недостатня розробленість проблем впровадження технологій енергозбереження в сфері ЖКГ, неефективність системи державного регулювання взаємовідносин між суб'єктами ринку комунальних послуг, ринку споживачів цих послуг і ринку постачальників енергоресурсів в контексті енергозбереження, відсутність системного підходу до вирішення проблеми енергозбереження в сфері ЖКГ з застосуванням, зокрема, поновлюваних джерел енергії зумовили актуальність обраної теми дослідження.

Основним показником споживання ресурсів є необхідне споживання енергії будівлями. Розраховані або виміряні значення потреби в енергії: опалення, водопостачання

Енергетичні системи та обладнання

та газопостачання протягом року є специфічними значеннями, вимірювані в кВт·рік на квадратний метр корисної площі будівлі або на одного мешканця.

Рішення проблеми. Використання реноваційних технологій в системі енергопостачання споживачів комунального сектора умовно можна розділити на три напрямки:

- перший – з метою економії необхідних обсягів енергії: електричної, теплової, механічної;
- другий – з метою економії палива або іншої енергії у постачальника або виробника;
- третій – з метою зменшення викидів забруднюючих речовин. Слід також зазначити, що витрати споживачів комунального сектора закупівлю енергоносіїв включають транспортування та акумулювання, ремонт, обслуговування. Загальні річні грошові витрати визначаються за формулою:

$$B_{\text{ц}} = bQ + aV + dG, \quad (1)$$

де Q, V, G – обсяги, відповідно, теплової енергії, енергії палива і води, які споживачі використовують протягом року, кВт·г та м³.

b, a, d – тарифи, відповідно грн/Гкал, грн/м³.

Грошові витрати на енергоносії змінюються в залежності від багатьох факторів, в тому числі і від сезону [2]. Наприклад, витрати на теплову і електричну енергію в літній сезон мінімальні, а в зимовий – максимальні; за паливо навпаки вони максимальні в літній сезон; за хімічну енергію – максимальні в весняне і осіннє сезони. Грошові витрати при покупці енергоносіїв від однієї, наприклад, централізованої системи за рік і визначаються:

$$B_{\text{с}} = \begin{vmatrix} & \text{Тепло} & \text{Газ} & \text{Вода} \\ \text{Зима} & k_{1q}bQ & k_{1g}dG & k_{1v}aV \\ \text{Весна} & k_{2q}bQ & k_{2g}dG & k_{2v}aV \\ \text{Літо} & k_{3q}bQ & k_{3g}dG & k_{3v}aV \\ \text{Осінь} & k_{4q}bQ & k_{4g}dG & k_{4v}aV \end{vmatrix} \quad (2)$$

де k – коефіцієнт пайового використання відповідного енергоресурсу: теплової енергії, природного газу і води споживачем в i -му сезоні (1 – зима, 2 – весна, 3 – літо, 4 – осінь), розраховані щодо річного обсягу спожитої кількості енергоносія.

При наявності комбінованої системи споживач частину енергоносіїв закуповує від одного джерела (котельня), а частина або в повному обсязі виробляє інше джерело (наприклад, сонячна установка). При постійних річних обсягах використання споживачем всіх видів енергії, повинні виконуватися умови енергетичного балансу:

$$\left\{ \begin{array}{l} Q_0 = \sum z_q Q \\ V_0 = \sum z_v V \\ G_0 = \sum z_g G \end{array} \right\}, \quad (3)$$

де z_q, z_v, z_g – коефіцієнти ефективності використання виду енергії споживачем в i -му сезоні.

Величини визначаються за результатами енергоаудиту як:

Енергетичні системи та обладнання

$$z_q = \frac{\Delta Q}{Q}, z_v = \frac{\Delta V}{V}, z_g = \frac{\Delta G}{G}. \quad (4)$$

Для дослідження можливих варіантних рішень щодо визначення річного грошового ефекту в реальному і в прогнозованому часу для проведення ЕЗЗ, представимо вхідні дані у формі матричного рівняння, яке має безліч варіантів вирішення завдання для i -го року з позитивним, або негативним результатом та висновком [3]:

$$E = \Delta P - DB - EK = \begin{vmatrix} \sum k_{z_q}Q + \sum k_{z_v}V + \sum k_{z_g}G & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots \\ \sum k_{z_q}Q + \sum k_{z_v}V + \sum k_{z_g}G & \dots & \dots \end{vmatrix} - \begin{vmatrix} \sum kbQ + \sum kaV + \sum kdG & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots \\ \sum kbQ + \sum kaV + \sum kdG & \dots & \dots \end{vmatrix} - E \begin{vmatrix} \sum kK_q + \sum kK_v + \sum kK_g & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots \\ \sum kK_q + \sum kK_v + \sum kK_g & \dots & \dots \end{vmatrix} \Rightarrow \max \quad (5)$$

Згідно [3], основним критерієм оцінки ефективності інвестиційного проекту, без урахування нормативу дисконтування, ε величина поточної річного прибутку:

$$\Pi = D - B, \quad (6)$$

де D – річний дохід від реалізації енергії за період року, грн.

B – річні наведені розрахункові витрати, грн.

Прирівнюємо позитивну величину детермінованого економічного показнику до доходу, $\Delta P = D$, тоді термін повернення інвестицій ($T_{\text{пн}}$) визначимо за формулою:

$$T_{\text{пн}} = \frac{K}{\Pi} = \frac{K}{\Delta P - B}, \quad (7)$$

де K – капітальні вкладення в термореновації, грн.

Розробка оптимальних стратегій проведення енергозберігаючих заходів. Excel дозволяє вирішувати завдання оптимального управління, загальний вигляд яких представлений формулами 8-10.

$$F = f(x_1, \dots, x_j, \dots, x_n) \rightarrow \max(\min, \text{Const}) \quad (8)$$

$$g_i(x_j) \leq (=, \geq) b_i \quad (9)$$

$$d_j \leq x_j \leq D_j \quad (10)$$

де x_j може приймати або дійсні, або цілочисельні, або булеві значення.

Формула (8) визначає цільову функцію, формула (9) визначає обмеження, а формула (10) визначає граничні умови.

Після створення таблиці необхідно заповнити її даними (дані були обрані випадково для прикладу), від яких залежить розрахунок формул і результат пошуку оптимальних рішень (табл. 1).

Таблиця 1 – Таблиця з результатами пошуку рішення

		Опалення			Газопостачання		Водопостачання	
Економічний ефект від заходу, грн/рік.		42709	179641	76223	45851	1959	1982	39639
Кількість будинків по заходам, шт.		19	28	122	80	108	112	112
Заходи:		Питомі витрати грошей на будинок						
Утеплення огорожувальних конструкцій		433527	0	0	0	0	0	0
Заміна вікон на пластикові		0	740182	0	0	0	0	0
Установка індивідуальних терморегуляторів		0	0	225055	0	0	0	0
Заміна газових колонок на електричні водонагрівачі		0	0	0	222639	0	0	0
Пошук витоків природного газу		0	0	0	0	2593	0	0
Пошук витоків води з трубопроводів		0	0	0	0	0	1786	0
Модернізація економічними насадками		0	0	0	0	0	0	43093
Витрачено грошей	Виділено грошей	Заходи:			Рентабельність		Вплив	
8237013	8306315	Утеплення огорожувальних конструкцій			10 %		11 %	
19984914	20463131	Заміна вікон на пластикові			24 %		27 %	
27456710	28556337	Установка індивідуальних терморегуляторів			34 %		38 %	
17143203	17364117	Заміна газових колонок на електричні водонагрівачі			21 %		23 %	
279990	280000	Пошук витоків природного газу			76 %			
200032	200100	Пошук витоків води з трубопроводів			111 %			
4826416	4830000	Модернізація економічними насадками			92 %			
78128278	8306315	Різниця	187172 2		89 %		100 %	
Кількість проведених заходів, шт.		577						
Економія, грн/рік; %; термін окупності		24725323	30,9 %	3,24				

На результат пошуку рішень так само впливає сума виділених коштів. Для того, щоб програма визначила оптимальну кількість будинків, на які треба застосувати енергозберігаючий захід, потрібно оптимально розподілити гроші на кожне ЕЗЗ. Розподіл буде відбуватися за допомогою спрощеного факторного аналізу. Факторний аналіз – це багатовимірний метод, застосовуваний для вивчення взаємозв'язків між значеннями змінних. Мета нашої задачі - з'ясувати наскільки рентабельний кожен захід і який вплив він справляє на загальну економію коштів після його застосування. Рентабельність визначимо як відношення економії до питомими витратами, а вплив – як відсоток від їх загальної рентабельності. Саме отриманий відсоток їх буде відображати частку виділених грошей на окремий захід.

Відзначимо, що заходи з пошуку витоків природного газу, пошуку витоків води та оснащення водопровідних кранів економічними насадками є найбільш рентабельними через низьку питому вартість. Звідси випливає, що в першу чергу необхідно виділити гроші на застосування цих заходів для всіх будинків, а розподіляти решту суми на інші чотири ЕЗЗ по фактору впливу.

Енергетичні системи та обладнання

Створивши таблиці з даними, описані в першому етапі, далі потрібно підготувати осередки, що відображають результати витрачених коштів, їх суму, залишок від виділених коштів, суми економічних ефектів з терміном окупності і суму всіх ЕЗЗ.

Виконавши всі ці етапи можна переходити до пошуку рішення, натиснувши на кнопку «Знайти рішення». Після цього програма покаже діалогове вікно «Результат пошуку рішень», де надано короткий звіт про роботу програми і запропонований необхідний нам оптимальний варіант збереження рішення. Як видно з табл. 1 програма сама заповнила осередки значень цільової функції оптимальною кількістю будинків.

Ці значення і є рішенням задачі лінійного програмування. Видно, що витрачено 78128278 грн. на всі ЕЗЗ і залишок становить 1871722 грн. Сумарна економія коштів після реновацій становить 24725323 грн/рік, а термін окупності становить 3,24 роки.

ВИСНОВКИ

У зв'язку з тим, що в нинішній час підвищується вартість на енергоресурси при цьому споживання не зменшується. Це призводить до того що люди шукають способи економії енергоресурсів.

У даній роботі були розглянуті і проведені аналізи ресурсоспоживання в певних районах, що показало залежність споживання енергоресурсів від поверховості та року побудови будівлі. За цими даними було вирішено провести заходи щодо економії.

По кожному енергоресурсу було приведено по три заходи. За опалення: утеплення будівель, заміна вікон, впровадження індивідуальних терморегуляторів. З водопостачання: пошук і усунення витоків, установка насадок на крани, зміни водорозподілення. З газопостачання: пошук витоків, установка лічильників, установка бойлерів.

Всі будинки розташувалися в порядку убування за пріоритетності заходу. У пріоритеті були обрані будинки, в яких економічний ефект є найвищим.

Так само для кожного заходу була розроблена програма для визначення оптимальної кількості будинків при якому можна застосувати енергозберігаючі заходи з урахуванням обмежень. За даними був проведений підрахунок економії від кожного заходу і виведена середня економія від проведення всіх заходів в грошовому еквіваленті.

Список використаних джерел:

1. Енергетичний аудит об'єктів житлово-комунального господарства: монографія / В. П. Розен [та ін.]; за заг. ред. В. П. Розена, О. І. Солов'я. – Київ: ДЕЛЬТА ФОКС, 2007. – 224 с.
2. Бухмиров, В. В. Методические рекомендации по оценке эффективности энергосберегающих мероприятий / В. В. Бухмиров [и др.]. – Томск: ИД ТГУ, 2014. – 96 с.
3. Практическое пособие по выбору и разработке энергосберегающих проектов / под общ. ред. О. Л. Данилова, П. А. Костюченко. – М., 2006. – 668 с.

Житаренко В. М., Цыганов В. И., Науменко М. Д., Науменко С. Д.

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ЭНЕРГОРЕНОВАЦИИ ЖИЛЫХ ДОМОВ

Проблема энергетической реновации жилых и общественных зданий становится все более актуальной по мере роста стоимости энергоресурсов. На проведение энергореновации жилого фонда используют как средства городского или государственного бюджета, так и привлечение средств международных фондов и гранты. В статье предпринята попытка

Енергетичні системи та обладнання

разработать оптимальную стратегию использования имеющихся средств, выделенных для проведения энергетической реновации. Методика, предложенная позволяет выявить приоритеты проведения мероприятий по улучшению энергоэффективности и ресурсосбережения жилого фонда. Проведен анализ данных на основании статистической обработки энергопотребления жилого фонда по электронной энергии, теплоту для отопления, горячего и холодного водоснабжения, поставки бытового газа. Разработан алгоритм обработки статистической информации в среде Excel. Задача выбора оптимальной стратегии решается с помощью математической модели линейного программирования. Параметрами линейной модели являются коэффициенты долевого использования соответствующего энергоресурса: тепловой энергии, природного газа и воды потребителем. Критерием оптимального решения принят максимальный денежный эффект от реновации в реальном и в прогнозируемом времени. На основе полученных в результате расчетов коэффициентов ранжирование, были сделаны выводы по необходимости и первоочередности применения энергосберегающих мероприятий. Определено влияние энергосберегающих мероприятий на показатели ресурсосбережения и энергоэффективности жилых домов различных годов постройки и этажности. Алгоритм также позволяет определить экономию энергоресурсов благодаря проведению энергореновации.

Ключевые слова: энергоресурс, потребитель, расходы, замена, модернизация, эффективность, экономический показатель, линейное программирование, паявые коэффициенты, денежный эффект.

Zhytarenko V. M., Tsiganov V. I., Naumenko M. D., Naumenko S. D.

MATHEMATICAL MODEL OF ENERGY RESEARCH OF HOUSING HOUSES

The problem of energy renovation of residential and public buildings is becoming more relevant as the cost of energy increases. For the use of funds from the city or state budget, as well as the attraction of funds from international funds and grants, are used for energy resource development of a housing stock. The article attempts to develop an optimal strategy for using available funds allocated for energy renovation. The proposed method allows identifying priorities of measures to improve energy efficiency and resource conservation of housing stock. Data analysis was performed on the basis of statistical processing of energy consumption of housing stock for electric energy, heat for heating, hot and cold water supply, domestic gas supply. An algorithm for processing statistical information in the Excel environment is developed. The task of choosing the optimal strategy is solved by using a mathematical model of linear programming. Parameters of the linear model are the coefficients of share use of the corresponding energy resource: thermal energy, natural gas and water by the consumer. The criterion of the optimal solution is the maximum monetary effect of renovation in real and in the projected time. On the basis of the ranking coefficients obtained as a result of calculations, conclusions were made on the necessity and priority of the application of energy saving measures. The influence of energy saving measures on the indicators of resource conservation and energy efficiency of residential buildings of different years of construction and surface is determined. The algorithm also allows you to determine the energy savings due to the energy generation.

Key words: energy resource, consumer, costs, replacement, modernization, efficiency, economic indicator, linear programming, share ratios, monetary effect.

Рецензент: канд. техн. наук, доц. Ленцов І. А.

Стаття надійшла 29.10.2018 р.

УДК 004.896:621.182

Маляков І. В., Бежан В. А., Житаренко В. М.

ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ТЕПЛООБМІННОГО ОБЛАДНАННЯ КОТЕЛЕНЬ ЗА ДОПОМОГОЮ САПР SOLIDWORKS FLOW SIMULATION

Теплообмінники поверхневого типу були і залишаються широко поширеними практично у всіх галузях промисловості і комунального господарства. Їх ефективність в значній мірі визначає ефективність теплоенергетичних систем. Ефективність перенесення теплоти в теплообмінниках в значній мірі впливає на їх вартість. У статті розглядається створення за допомогою SolidWorks Flow Simulation 3D моделі кожух висівкового теплообмінника з метою визначення його ефективності і дослідження конструктивних факторів, що впливають на неї. Розглянуто можливості середовища САПР SolidWorks Flow Simulation і особливості при моделюванні та дослідженні теплообмінника поверхневого типу.

САПР SolidWorks Flow Simulation дозволяє оцінити ефективність протікання теплообмінних процесів з допомогою завдання цілей в граничних умовах для моделі і виведення звіту результатів моделювання. Завдяки використанню цієї функції САПР були визначені комплексні критерії ефективності теплообмінного апарату, такі як щільності теплового потоку, максимальний і середній коефіцієнт тепловіддачі, поля швидкостей, температур і тисків. Завдання було вирішено для умов застосування теплообмінника в котельнях та центральних теплових пунктах. Також було визначено максимальна та мінімальна завихорності потоків рідини по всій поверхні теплообміну. Досліджено вплив турбулізації руху рідини і процесів дифузії при великих числах Рейнольдса на коефіцієнт турбулентної в'язкості. Цей коефіцієнт не залишається постійним і складним чином залежить від характеру руху. Цей фактор істотно впливає на розподіл температур уздовж поверхні теплообміну і ефективність теплообмінника.

***Ключові слова:** САПР, SolidWorks Flow Simulation, теплообмінник, 3D модель, математична модель, критерії ефективності*

Вступ. Кожухотрубні теплообмінні водо-водяні апарати є досить поширеним типом теплообмінників на опалювальних котельнях та центральних теплових пунктах. За їх допомогою підігрівають сиру та хімочищену воду, воду для гарячого постачання тощо. Від ефективності роботи цих апаратів в значній мірі залежить ефективність котельні. Це стосується, насамперед, втрат, які мають місце в процесі теплообміну. Недостатній тепловий напір, або велика поверхонь теплообміну призводять до витрати зайвих коштів. Для вибору теплообмінників, дослідження процесів теплообміну та вибору режимів роботи використовувалися типові методи розрахунків на основі математичних моделей, які не дозволяли наглядно та детально вивчати процеси перенесення теплоти. Також на сьогоднішній день все менше і менше використовується натурних лабораторних моделей для дослідження й вивчення тих чи інших процесів. Бо вже з кінця ХХ століття Системи Автоматизованого Проектування (САПР) почали виходити на високий рівень продуктивності. Натепер відомі такі програми чисельного моделювання процесів течії та теплообміну, як FlowVision, SolidWorks та інші. Створення SolidWorks переслідувало такі цілі, як: скорочення трудомісткості проектування і планування, скорочення собівартості проектування і виготовлення моделей, скорочення термінів проектування. Числові моделі рішення диференційних рівнянь течії та теплообміну дозволяють не тільки візуалізувати процеси, а вбудований оптимізаційний модуль – отримати оптимальні рішення.

Аналіз останніх досліджень и постановка проблемы. При проведенні досліджень теплообмінних апаратів на числових моделях результат в значній мірі залежить від якості тих моделей, які закладені в САПР. Особливості САПР SolidWorks викладено у статті [1], алгоритм роботи та основні пріоритети SolidWorks відображено в [2]. Останніми авторами проводилися дослідження SolidWorks та були встановлені одні з основних пріоритетів у розробці системи, яка орієнтована на вирішення завдань конструкторсько-технологічної підготовки виробництва. Також було розглянуто три базові конфігурації: стандартну, професійну і преміум, а крім цього, прикладні модулі: інженерні розрахунки, обробка механічна, управління даними. Спеціалізовані модулі SolidWorks, призначені для проектування технологічного оснащення, об'єднані в спеціалізовані пакети і забезпечують конструкторам-технологам можливість швидкого створення і модифікації штампів, пресформ і ливарних форм.

У [1], було розглянуто інтерфейс користувача, порядок створення зборки, проектування зварних деталей за тривимірним ескізом з використанням профілів із бази даних програми. Нажаль до кодів чисельного моделювання у системі САПР у користувача доступу нема, тому єдиним шляхом для перевірки адекватності отриманих результатів є порівняння їх з практикою.

Метою роботи є дослідження як самої системи САПР так і отримання показників ефективності теплообмінників.

Основний матеріал та результати досліджень. Побудова моделі теплообмінного апарату у SolidWorks починається із складання моделей 3 видів: деталь, зборка і 2D креслення. Креслення кожухотрубного водо-водяного теплообмінника було взято типовим для кожухотрубного теплообмінника котельні і за цим кресленням зроблено 3D модель. Важливою перевагою 3D моделі над 2D кресленням є найбільш повний опис геометрії та фізичних властивостей об'єкта моделювання (маса, моменти інерції, обсяг). При побудові моделі теплообмінника у САПР SolidWorks автори зіткнулися з невід'ємною потребою у великих резервах продуктивності комп'ютера.

На першому етапі за допомогою відповідних інструментів було викреслено деталь - корпус (кожух) теплообмінника. Далі була створена модель трубної решітки, це найскладніша деталь збірки. Третьою та останньою деталлю було днище. Після того, як усі деталі були накреслені, перейшли до наступного етапу – складання зборки. Зборка здійснюється за допомогою інструменту «сполучення». Усі деталі по чергово з'єднуються одна з іншою. Після завершення процедури сполучення, була виконана 3D модель, яка має вигляд, представлений на рис. 1.

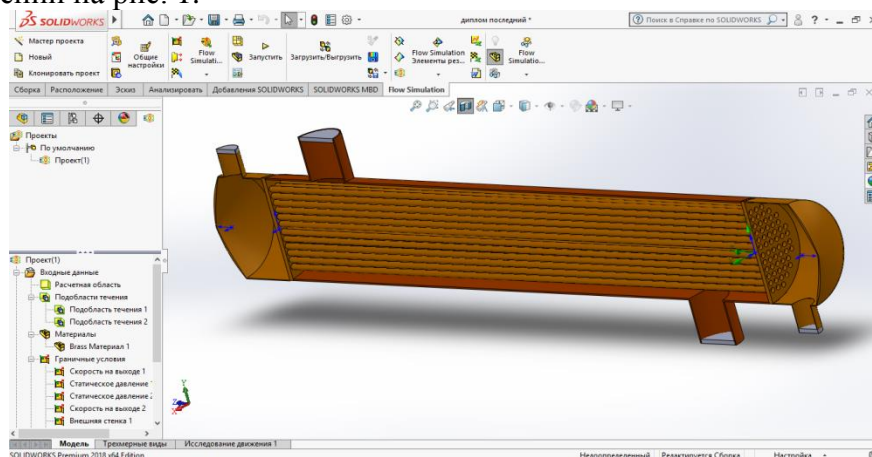


Рисунок 1 – Кожухотрубний водо-водяний теплообмінник у розрізі

Енергетичні системи та обладнання

Після створення геометричної моделі, переходили до технічного теплового розрахунку моделі за допомогою блоку SolidWork Flow Simulation. Перша важлива відмінність використання комп'ютерного моделювання від математичного полягає у точності результатів дослідження. Наприклад, коефіцієнт теплопровідності λ для будь-якого теплоносія не є величиною сталою і має залежність від температури, тиску, вологості. Для спрощення розрахунку його приймають незмінним. SolidWork Flow Simulation враховує вищезгадані залежності як коефіцієнта теплопровідності λ , так і решту інших термодинамічних і фізичних параметрів. SolidWork Flow Simulation це інструмент чисельного моделювання, заснований на методі кінцевих обсягів. За допомогою його можуть вирішуватися стаціонарні і нестационарні задачі. При вирішенні теплових задач істотною перевагою подібних інструментів є розрахунок плинну теплоносія. Це позбавляє користувача від необхідності призначати коефіцієнти тепловіддачі, які описують взаємодію плинного середовища зі стінкою теплообмінника.

Розрахунок починався з обирання матеріалу моделі (це будь-який матеріал з бази даних програми), встановлення граничних умов та призначення цілей розрахунків.

Прикладом такого розрахунку є графічне відображення температурного поля теплообмінника, що приведено на рис. 2.

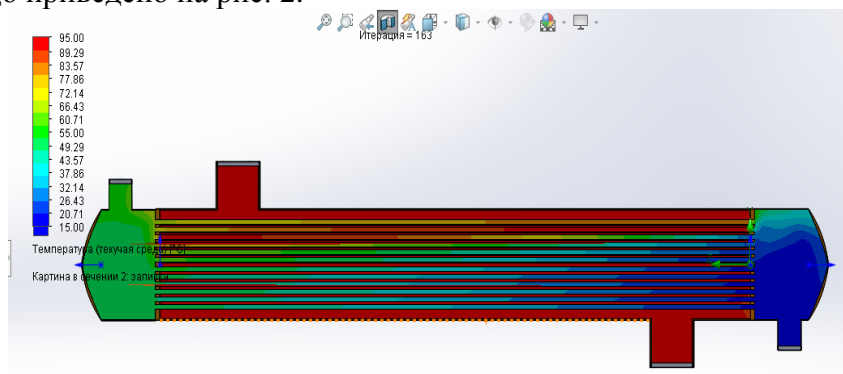


Рисунок 2 – Температурне поле плинного середовища теплообмінника

Отримані температурні поля теплоносіїв, поля швидкостей та поля тисків дають змогу проаналізувати наскільки ефективно працює теплообмінник. На рис. 3 наведена залежність температури рідини, що гріє, від відстані, пройдені рідиною в міжтрубному просторі.

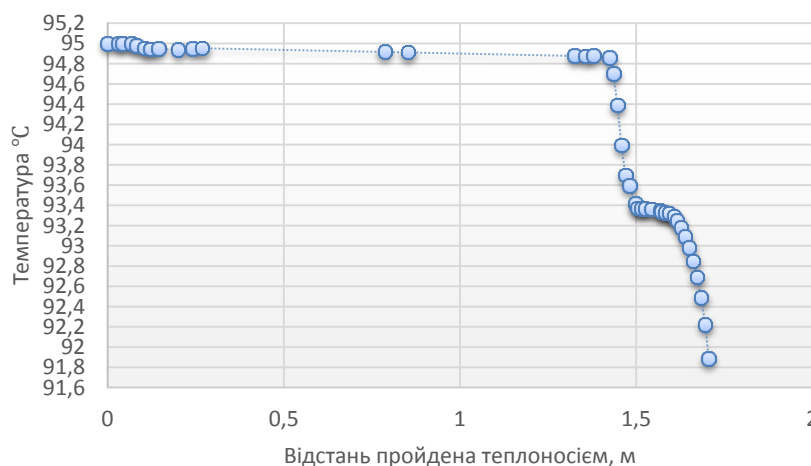


Рисунок 3 – Графік зміни температури рідини, що гріє

Енергетичні системи та обладнання

Початкова і кінцева точка на графіку є температурами рідини, що гріє, на вході і відповідно на виході із теплообмінника. Проаналізувавши цей графік можна сказати, що зміна температури рідини, що гріє не є суттєвою і складає менш, ніж 5°C. Чого не можна сказати про температуру рідини що нагрівається в теплообміннику. На графіку рис. 4 наведена зміна температури води, що нагрівається. Начальна температура води, що входить до підігрівача дорівнює $t_1 = 15^\circ\text{C}$ а на виході $t_2 = 54.67^\circ\text{C}$. Вода сприймає тепловий потік дуже швидко та нелінійно. Це пов'язано з досить вагомим турбулентним характером руху рідини, який залежить від розташування труб в трубній решітці.

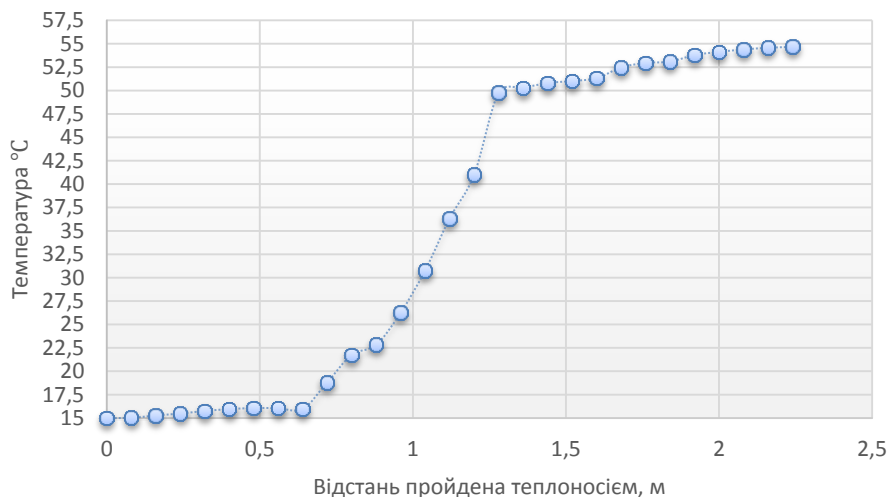


Рисунок 4 – Графік зміни температури води, що нагрівається

Отже можна виявити ділянки з особливим характером турбуленції, які вносять більший або менший вплив на коефіцієнт теплопередачі. Середовище САПР з легкістю дозволяє змінювати параметри потоків, і що саме важливе, конструктивні особливості поверхні теплообміну.

Оцінювання ефективності теплообмінника у середовищі САПР відбувається за допомогою критеріїв ефективності теплообмінного апарату таких, як: максимальний сумарний коефіцієнт тепловіддачі, який склав $\alpha_{\Sigma} = 222.8 \text{кВт}/(\text{м}^2/\text{К})$, максимальна щільність теплового потоку по всій поверхні теплообміну у підігрівачу, яка становить: $q = 201.5 \text{кВт}/\text{м}^2$, максимальна та мінімальна завихореність потоку рідини по всій поверхні теплообмінну склала 1,09 1/s та 332,08 1/s.

Наведені вище критерії ефективності теплообмінного апарату не є оптимальними, універсальними, який би врахував енергетичні втрати. Такі критерії оцінювання ефективності теплообмінника у середовищі САПР відсутні, тому було створена комплексна система оцінки ефективності, яка базується на методиці [4]. Вона поєднує технічні показники (тепловіддачу, параметри теплоносіїв) та економічні показники (витрати електроенергії, втрати теплоти).

ВИСНОВКИ

Система автоматизованого проектування SolidWorks знайшла широке застосування у виробництві і наукових дослідженнях завдяки тому, що забезпечує повну розробку виробів будь-якого призначення і будь-якої складності, має зрозумілий інтерфейс і можливості виявлення помилки на ранній стадії проектування.

Енергетичні системи та обладнання

Використання САПР SolidWorks може бути пов'язане з розв'язанням задач інтенсифікації тепломасообмінних процесів.

Оцінка ефективності теплообмінних апаратів, які досліджуються за допомогою системи SolidWorks Simulation може бути здійснено на основі комплексних техніко-економічних показників.

Список використаних джерел:

1. Федік, Л. Ю. Особливості системи автоматизованого проектування SolidWorks / Л. Ю. Федік // Комп'ютерно-інтегровані технології : освіта, наука, виробництво. – 2014. – Вип. 15. – С. 127–130.
2. Андрусевич, А. А. Исследование современных средств проектирования технологической оснастки / А. А. Андрусевич, Ф. В. Фомовский, С. В. Сотник // Вісник Кременчуцького нац. ун-ту ім. М. Остроградського. – 2014. – Вип. 3. – С. 104–109.
3. Алямовский, А. А. SolidWorks Simulation. Инженерный анализ для профессионалов : задачи, методы, рекомендации / А. А. Алямовский. – М. : ДМК Пресс, 2015. – 562 с.
4. Калафати, Д. Д. Оптимизация теплообменников по эффективности теплообмена / Д. Д. Калафати, В. В. Попалов. – М. : Энергоатомиздат, 1986. – 150 с.

Маляков И. В., Бежан В. А., Житаренко В. М.

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕПЛООБМЕННОГО ОБОРУДОВАНИЯ КОТЕЛЬНЫХ С ПОМОЩЬЮ САПР SOLIDWORKS FLOW SIMULATION

Теплообменники поверхностного типа были и остаются широко распространенными практически во всех отраслях промышленности и коммунального хозяйства. Их эффективность в значительной степени определяет эффективность теплоэнергетических систем. Эффективность переноса теплоты в теплообменниках в значительной степени влияет на их стоимость. В статье рассматривается создание с помощью SolidWorks Flow Simulation 3D модели кожух отрубного теплообменника с целью определения его эффективности и исследования конструктивных факторов, влияющих на нее. Рассмотрены возможности среды САПР SolidWorks Flow Simulation и особенности при моделировании и исследовании теплообменника поверхностного типа.

САПР SolidWorks Flow Simulation позволяет оценить эффективность протекания теплообменных процессов с помощью задания целей в граничных условиях для модели и вывода отчета результатов моделирования. Благодаря использованию это функции САПР были определены комплексные критерии эффективности теплообменного аппарата, такие как плотности теплового потока, максимальный и средний коэффициент теплоотдачи, поля скоростей, температур и давлений. Задача была решена для условий применения теплообменника в котельных и центральных тепловых пунктах. Также было определены максимальная та минимальная завихренности потоков жидкости по всей поверхности теплообмена. Исследовано влияние турбулизации движения жидкости и процессов диффузии при больших числах Рейнольдса на коэффициент турбулентной вязкости. Этот коэффициент не остается постоянным и сложным образом зависит от характера движения. Этот фактор существенно влияет на распределение температур вдоль поверхности теплообмена и эффективность теплообменника.

Ключевые слова: CAIP, SolidWorks Flow Simulation, теплообменник, 3D модель, математическая модель, критерий эффективности

Malyakov I. V, Bezhan V. A., Zhitanenko V. M.

INVESTIGATION OF THE EFFICIENCY OF HEAT EXCHANGER EQUIPMENT OF CATHEDES WITH USED ASSISTANCE SOLIDWORKS FLOW SIMULATION

Surface heat exchangers have been and remain widespread in almost all industries and utilities. Their effectiveness largely determines the efficiency of heat and power systems. The efficiency of heat transfer in heat exchangers greatly affects their cost. The article discusses the creation using the SolidWorks Flow Simulation 3D model of a branded heat exchanger shell to determine its effectiveness and to study the design factors affecting it. The possibilities of the SolidWorks Flow Simulation CAD system and features in the modeling and study of surface type heat exchangers are considered.

flow of heat exchange CAD SolidWorks Flow Simulation allows you to evaluate the effectiveness of the processes by setting targets in the boundary conditions for the model and displaying a report of the simulation results. Through the use of this CAD function, complex criteria for the efficiency of a heat exchanger, such as heat flux densities, maximum and average heat transfer coefficient, velocity fields, temperatures and pressures, were determined. The problem was solved for the conditions of application of the heat exchanger in the boiler and central heat points. The maximum and minimum vorticity of fluid flows over the entire heat exchange surface was also determined. The effect of turbulence in fluid motion and diffusion processes at high Reynolds numbers on the coefficient of turbulent viscosity is investigated. This coefficient does not remain constant and depends on the nature of the movement. This factor significantly affects the temperature distribution along the heat exchange surface and the efficiency of the heat exchanger.

Keywords: CAD, SolidWorks Flow Simulation, heat exchanger, 3D model, mathematical model, performance criterion

Рецензент: проф., д-р техн. наук Маслов В. А.

Стаття надійшла 29.10.2018 р.

УДК 614.841:536.46

Кириченко О. В., Діброва О. С., Мотрічук Р. Б., Барановський О. С., Цибулін В. В.

ВИЗНАЧЕННЯ ВМІСТУ ВИСОКОТЕМПЕРАТУРНОГО КОНДЕНСАТУ В ПРОДУКТАХ ЗГОРЯННЯ ПІРОТЕХНІЧНИХ НІТРАТНО-МЕТАЛЕВИХ СУМІШЕЙ ПРИ ПІДВИЩЕНИХ ЗОВНІШНІХ ТИСКАХ

Для запобігання руйнувань пожежонебезпечних піротехнічних виробів при їх зберіганні, транспортуванні і застосуванні з урахуванням впливу зовнішніх термодій практичне значення має розробка методів запобігання загоряння зарядів піротехнічних сумішей, що базуються на науково-обґрунтованих дослідженнях основних характеристик процесу виникнення та розвитку горіння сумішей. Метою даної роботи є експериментальне дослідження залежностей складу та вмісту високотемпературного конденсату в продуктах згоряння трикомпонентних піротехнічних сумішей від співвідношення компонентів у вихідній суміші та тиску навколишнього середовища. В якості компонентів

Енергетичні системи та обладнання

нітратно-металевих піротехнічних сумішей використовувалися порошки металевих палих (алюмінію, магнію, цирконію), нітратновмісного окиснювача (нітрату натрію) та добавок органічних речовин (парафіну, стеарину, нафталіну, антрацену), які випускаються промисловістю, а ущільнені з них зразки виготовлялися по технології, що прийнята у піротехнічному виробництві. Для отримання конденсованих продуктів згорання сумішей при підвищених зовнішніх тисках (до 10^7 Па) використовувалась спеціально розроблена випробувальна установка. Для дослідження фазового складу отриманих конденсованих продуктів згорання сумішей використовувалися сучасні методи рентгеноструктурного аналізу. Представлено результати експериментальних досліджень впливу підвищених зовнішніх тисків (до 10^7 Па) для діапазонів зміни співвідношення компонентів, в межах яких спостерігається сталий невибухонебезпечний розвиток горіння сумішей, на склад і вміст високотемпературного конденсату в їх продуктах згорання.

Ключові слова: пожежна безпека, піротехнічна суміш, продукти згорання.

Постановка проблеми. З кожним роком в Україні та в усьому світі зростає кількість пожеж та вибухів в умовах зберігання, транспортування та застосування загальнопромислових піротехнічних виробів, які спричиняють руйнування об'єктів, людські жертви та наносять значні матеріальні збитки [1 – 6].

Аналіз зазначених випадків показує, що загорянню та подальшому пожежонебезпечному руйнуванню виробів, як правило, передують зовнішні дії, яким вони піддаються (наприклад, при пожежі у складських приміщеннях, де зберігаються вироби, в умовах їх транспортування при займанні близько розташованих об'єктів, а також під час пострілу та польоту виробів в умовах їх запуску тощо), що призводять до утворення високотемпературних конденсованих продуктів згорання піротехнічних сумішей (конденсату) з температурою до 3000...4000 К, які мають пожежну небезпеку для багатьох навколишніх об'єктів внаслідок розлітання у всі боки, що призводить до виникнення нових осередків пожежі.

Тому суттєвого практичного значення набуває запобігання вказаних нових осередків пожежі при вимушеному спрацьовуванні піротехнічних виробів в умовах впливу зовнішніх термодій. Щодо цього вони повинні ґрунтуватися на науково-обґрунтованих методах визначення основних характеристик виникнення та розвитку горіння зарядів піротехнічних сумішей (складу продуктів згорання, вмісту у них високотемпературного конденсату, швидкості та температури горіння тощо).

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Нині існують результати досліджень процесу горіння трикомпонентних піротехнічних сумішей (метал + нітратовмісний окиснювач + добавка органічної речовини (парафіну, стеарину, нафталіну, антрацену тощо)), що складають основу зарядів багатьох піротехнічних виробів різного призначення (освітлювальних, трасуючих, твердих піротехнічних палив тощо) [7 – 11].

Невирішена проблема. Не досліджено склад та вміст високотемпературного конденсату у продуктах згорання сумішей, а також вплив на них співвідношення компонентів у вихідній суміші та зовнішніх чинників (підвищених тисків навколишнього середовища, її складу тощо).

Метою роботи є експериментальне дослідження залежностей складу та вмісту високотемпературного конденсату в продуктах згорання трикомпонентних піротехнічних сумішей від співвідношення компонентів у вихідній суміші та тиску навколишнього середовища.

Методики та установки для проведення досліджень. В якості компонентів нітратно-металевих піротехнічних сумішей використовувалися порошки металевих палих (алюмінію, магнію, цирконію), нітратновмісного окиснювача (нітрату натрію) та добавок

Енергетичні системи та обладнання

органічних речовин (парафіну, стеарину, нафталіну, антрацену), які випускаються промисловістю, а ущільнені з них зразки виготовлялися по технології, що прийнята у піротехнічному виробництві [5, 7 – 11].

Зразки сумішей одержували різними видами ущільнюючого формування, головним чином, пресуванням [7, 9]. Це необхідно для отримання заданої густини спресованого зразка.

При цьому коефіцієнт ущільнення $K_Y = \frac{\rho_c}{\rho_{max}}$ (ρ_c – густина зразка (досягнута),

ρ_{max} – максимально можлива густина зразка) для зразків, що розглядаються, складає 0,96...0,98, тобто зразки сумішей, що використовуються, мали практично гранично допустимі значення K_Y і були абсолютно газонепроникними.

Пресування сумішей порошків компонентів сумішей здійснювалося в металеві оболонки діаметром $2 \cdot 10^{-2}$ м і товщиною $2 \cdot 10^{-3}$ м. Для забезпечення стійких режимів горіння зразків сумішей висоти h запресовок при вказаних діаметрах складала: $h = 3 \dots 4 \cdot 10^{-2}$ м.

На практиці співвідношення компонентів в суміші кількісно оцінюється так званим коефіцієнтом надлишку окиснювача, який характеризує ступінь відхилення даної системи від системи стехіометричного складу:

$$\alpha = \frac{\xi_N}{\xi_M \cdot l_c}, \quad (1)$$

де ξ_N , ξ_M – масова частка окиснювача та металевого пального у даній суміші; l_c – стехіометричний коефіцієнт [3]). При цьому суміші з $\alpha < 1$ вважаються Perezбагаченими металевим паливом, при $\alpha > 1$ – Perezбагаченими окиснювачем, а у випадку $\alpha = 1$ – система є стехіометричною.

Для отримання конденсованих продуктів згорання сумішей при підвищених зовнішніх тисках P (до 10^7 Па) використовувалась спеціально розроблена випробувальна установка [9, 10], загальний вигляд та схема якої представлено на рис. 1. Вона містить прилад постійного тиску з фільтром, збірку і два мультиплікатори. Установка монтується на столі. Регулятор тиску сполучений із збіркою за допомогою трубопроводу. Фільтр – рідинний. Рівень води при заправці підтримується за допомогою зливного трубопроводу і вентиля. Регулятор тиску – пневматичний. Збірка призначена для збору продуктів згорання і є судиною високого тиску. Для зменшення перепаду тиску на регуляторі збірка заздалегідь надувається до тиску, дещо меншого робочого тиску при спалюванні зразка.

Для дослідження фазового складу отриманих конденсованих продуктів згорання сумішей використовувалися сучасні методи рентгеноструктурного аналізу [11 – 13]. Зокрема, використовувався рентгенівський дифрактометр загального призначення ДРОН – 3 М (рис. 2), який містить наступні основні вузли (рис. 3): високовольтне джерело живлення, яке призначене для підведення до рентгенівської трубки високої напруги (до 50 кВ) та напруги накалювання катоду (струм трубки до 50 мА); дифрактометричний вузол, що складається з рентгенівських трубок з анодами з кобальту, заліза, міді, молібдену ($\text{Co} - 1,78892 \overset{\circ}{\text{A}}$, $\text{Fe} - 1,93597 \overset{\circ}{\text{A}}$, $\text{Cu} - 1,54051 \overset{\circ}{\text{A}}$, $\text{Mo} - 0,70926 \overset{\circ}{\text{A}}$), які розміщувалися у захисний кожух, гоніометра з блоком детектування (лічильником) – пристроєм для відліку кутів повороту зразка та детектора по відношенню до первинного пучка рентгенівських променів, який забезпечує

Енергетичні системи та обладнання

синхронний поворот зразка та лічильника навколо загальної вісі з потрібними кутовими швидкостями та їх окремий поворот навколо тієї ж вісі від електродвигунів чи вручну; лічильно-реєструючий та керуючий пристрій, в якому реєструються імпульси напруги, що виробляються лічильником при потраплянні в нього кожного кванта рентгенівського випромінювання.

У використовуваному дифрактометрі фазовий аналіз оснований на тому, що кожна речовина дає певний набір інтерференційних ліній, який не залежить від інших речовин, присутніх у зразку. Співвідношення інтенсивностей ліній даної фази не змінюється, хоча інтенсивність кожної лінії пропорційна вмісту фази у речовині. При цьому розглядуваний метод оснований на усуненні причин, що спричиняють відхилення від пропорційності між концентрацією фази та інтенсивністю інтерференційної лінії, по якій визначається вміст фази. Крім цього, в методі використовуються стандарти (еталони) елементів, які входять до складу досліджуваної речовини, так звані еталони чистоти “ХЧ” (хімічно чисті) (у проведених дослідженнях використовувався відомий метод “зовнішнього стандарту” (незалежного еталону) [14]).

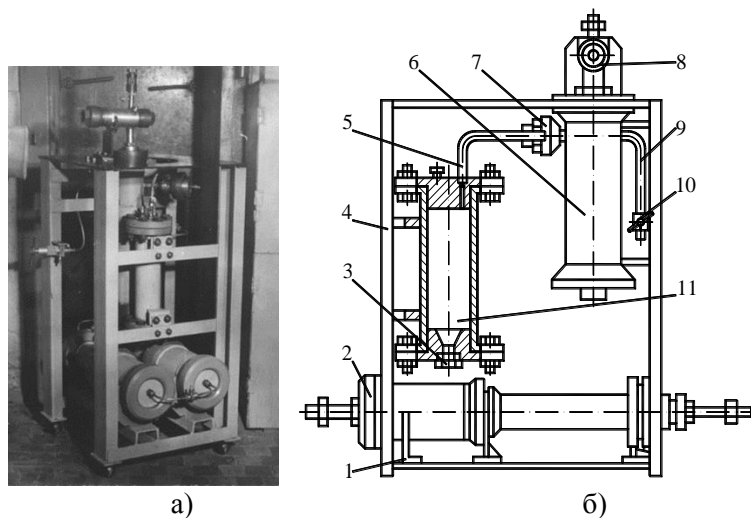


Рисунок 1 – Зовнішній вигляд (а) та схема (б) установки:

- 1 – кронштейн мультиплікатора; 2 – мультиплікатор;
- 3 – заглушка збірки; 4 – стіл; 5 – трубопровід від регулятора тиску до збірки;
- 6 – фільтр; 7 – регулятор тиску; 8 – камера згорання; 9 – трубопровід зливу;
- 10 – зливний вентиль; 11 – збірка

Результати досліджень та їх аналіз. Результати отриманих експериментальних досліджень по залежностям відносного масового вмісту високотемпературного конденсату в продуктах згорання $g_k(\alpha, P)$ ($g_k = \frac{M_k}{M}$, де M_k – маса конденсованих продуктів згорання; M – загальна маса усіх продуктів згорання; при цьому розглядаються наступні діапазони зміни коефіцієнта надлишку окиснювача: $\alpha_{ВПГ} < \alpha < \alpha_{НПГ}$, де $\alpha_{ВПГ}$, $\alpha_{НПГ}$ – відповідно верхня концентраційна межа горіння (надлишок металевого пального) та нижня концентраційна межа горіння (надлишок окиснювача)) для розглядуваних сумішей представлено на рис. 4 – 6.



Рисунок 2 – Загальний вигляд дифрактометра рентгенівського ДРОН – 3М:
 1 – джерело рентгенівського випромінювання ІРИС – 0;
 2 – комплекс керуючий дифрактометричний КУД – 1; 3 – захист

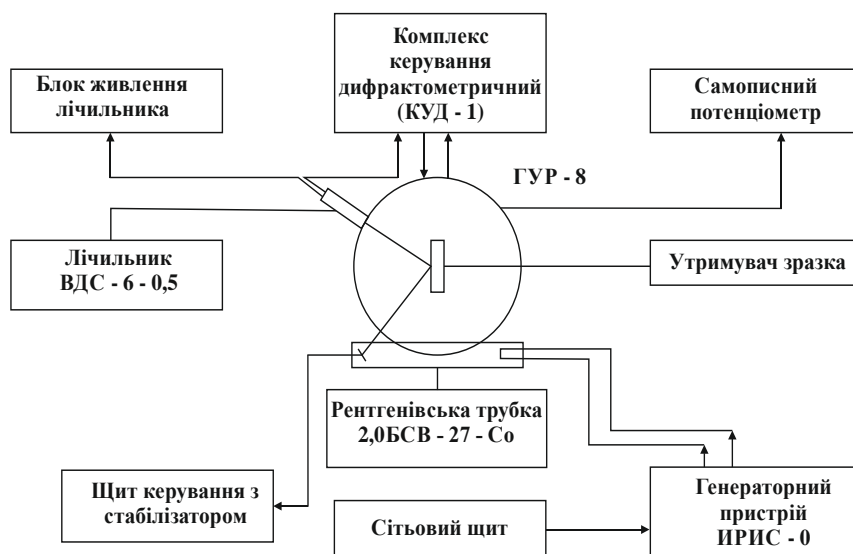


Рисунок 3 – Принципова схема дифрактометра рентгенівського ДРОН – 3М

З цих даних випливає, що залежність $g_k(\alpha)$ має різний екстремальний характер в залежності від розглядуваної суміші: для нітратно-алюмінієвих сумішей ($\varepsilon = 0,05 \dots 0,2$) g_{kmax} знаходиться при $\alpha = 1,0 \dots 1,1$, при цьому збільшення P від 10^5 Па до 10^7 Па не впливає на характер залежності $g_k(\alpha)$; для нітратно-цирконієвих сумішей ($\varepsilon = 0,05 \dots 0,2$) залежність $g_k(\alpha)$ при $P = 10^5$ Па має мінімум g_{kmin} при $\alpha = 0,9 \dots 1,0$ та максимум g_{kmax} при $\alpha = 1,5 \dots 1,6$, при цьому підвищення тиску до $P = 10^7$ Па призводить до зникнення

Енергетичні системи та обладнання

максимуму на кривій $g_k(\alpha)$; для нітратно-магнієвих сумішей ($\varepsilon = 0,05 \dots 0,2$) залежність $g_k(\alpha)$ також має максимум, положення якого залежить від зовнішнього тиску (при $P = 10^5$ Па максимум знаходиться при $\alpha = 1,4 \dots 1,5$, а при $P = 10^7$ Па – при $\alpha = 1,0 \dots 1,1$). При цьому склад конденсованих продуктів згорання сумішей повністю визначається співвідношенням їх компонентів незалежно від розглядуваного діапазону зміни зовнішнього тиску (табл. 1).

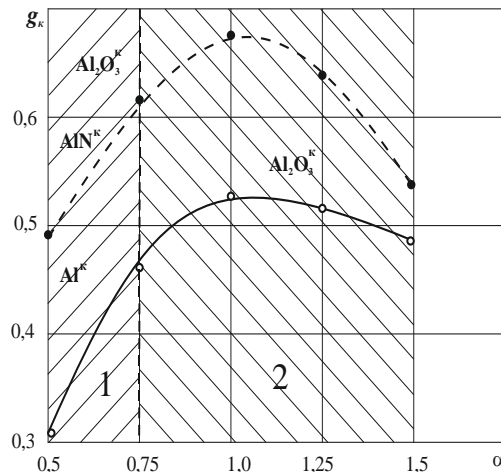


Рисунок 4 – Залежність відносного масового вмісту високотемпературного конденсату в продуктах згорання нітратно-алюмінієвих сумішей ($\varepsilon = 0,05 \dots 0,2$) від коефіцієнта надлишку окиснювача для різних зовнішніх тисків:

— — — — — $P = 10^5$ Па; - - - - - $P = 10^7$ Па;

- 1 – область значень α , при яких у склад конденсованих продуктів, крім основного продукту $Al_2O_3^k$, входять у невеликих кількостях (не більше 10...15 %) також AlN^k та Al^k ;
- 2 – область значень α , при яких конденсовані продукти g_{kmax} складаються практично з $Al_2O_3^k$ (решта продуктів складають менше 0,1...0,3 %); \circ, \bullet – експериментальні дані

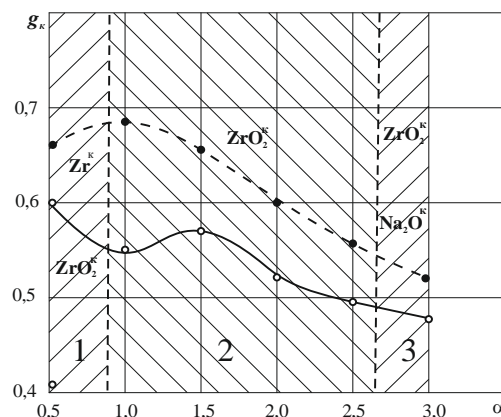


Рисунок 5 – Залежність відносного масового вмісту високотемпературного конденсату в продуктах згорання нітратно-цирконієвих сумішей ($\varepsilon = 0,05 \dots 0,2$) від коефіцієнта надлишку

Енергетичні системи та обладнання

окиснювача для різних зовнішніх тисків: — — — — — $P = 10^5$ Па; - - - - - $P = 10^7$ Па; 1, 3 – області значень α , при яких у склад конденсованих продуктів, крім основного продукту ZrO_2^k , входять у невеликих кількостях (не більше 8...12 %) також Zr^k та Na_2O^k ; 2 – область значень α , при яких конденсовані продукти складаються практично з ZrO_2^k (решта продуктів складають менше 0,2...0,5 %); \circ , \bullet – експериментальні дані

Таблиця 1 – Склад конденсованих продуктів згорання сумішей в залежності від α для $P = 10^5 \dots 10^7$ Па

α	Склад конденсованих продуктів згорання		
	Нітратно-алюмінієві суміші ($\varepsilon = 0,05 \dots 0,2$)	Нітратно-цирконієві суміші ($\varepsilon = 0,05 \dots 0,2$)	Нітратно-магнієві суміші ($\varepsilon = 0,05 \dots 0,2$)
0,5...0,6	$Al_2O_3^k$, AlN^k , Al^k	ZrO_2^k , Zr^k	MgO^k , Mg^k
0,6...0,7	$Al_2O_3^k$	ZrO_2^k , Zr^k	MgO^k
0,7...0,9	$Al_2O_3^k$	ZrO_2^k , Zr^k	MgO^k
0,9...1,5	$Al_2O_3^k$	ZrO_2^k	MgO^k
1,5...2,3	–	ZrO_2^k	MgO^k
2,3...2,7	–	ZrO_2^k	MgO^k , Na_2O^k
2,7...3,0	–	ZrO_2^k , Na_2O^k	MgO^k , Na_2O^k

Примітка. Індекс “к” означає, що хімічний елемент (з’єднання) знаходиться в конденсованій фазі.

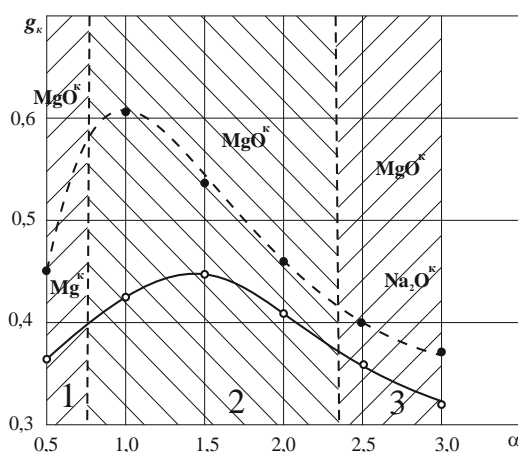


Рисунок 6 – Залежність відносного масового вмісту високотемпературного конденсату в продуктах згорання суміші нітратно-магнієвих сумішей ($\varepsilon = 0,05 \dots 0,2$) від коефіцієнта надлишку окиснювача для різних зовнішніх тисків: — — — — — $P = 10^5$ Па; - - - - - $P = 10^7$ Па; 1, 3 – області значень α , при яких у склад конденсованих продуктів, крім основного продукту MgO^k , входять у невеликих кількостях (не більше 9...14 %) також Mg^k та Na_2O^k ;

2 – область значень α , при яких конденсовані продукти складаються практично з MgO^k (решта продуктів складають менше 0,4...0,6 %); \circ , \bullet – експериментальні дані.

ВИСНОВКИ

Експериментально встановлено, що відносний масовий вміст високотемпературного конденсату в продуктах згорання нітратно-металевих сумішей найбільш сильно залежить від співвідношення компонентів (для $0,5 < \alpha < 3,0$) та зовнішнього тиску (для $P = 10^5 \dots 10^7$ Па): залежність $g_k(\alpha)$ має екстремальний характер з максимумами та мінімумами, положення яких повністю визначається зовнішнім тиском. При цьому незалежно від зовнішнього тиску основними конденсованими продуктами згорання сумішей є: $Al_2O_3^k$ – для нітратно-алюмінієвих сумішей при $\alpha = 0,6 \dots 1,5$; ZrO_2^k – для нітратно-цирконієвих сумішей при $\alpha = 0,9 \dots 3,0$; MgO^k – для нітратно-магнієвих сумішей при $\alpha = 0,6 \dots 3,0$.

Список використаних джерел:

1. Разработка рекомендаций по обеспечению пожарной безопасности фейерверочных пиротехнических изделий / Л. П. Возман [и др.] // Пожаровзрывобезопасность. – 2002. – № 3. – С. 24–41.
2. Требования пожарной безопасности при обращении пиротехнической продукции. Обзорно-аналитический материал ВНИИПО и ДНД МЧС России / Г. Н. Кириллов [и др.]. – М., 2010. – 19 с.
3. Маковей, В. А. Основные требования пожарной безопасности при обращении пиротехнической продукции / В. А. Маковей // Чрезвычайные ситуации: промышленная и экологическая безопасность. – 2011. – № 1-3. – С. 13–21.
4. Изделия пиротехнические. Использование пиротехники перед близкорасположенными участниками события (мероприятия). Требования безопасности: СТО 45744838 - 1.2 - 2014. – Сергиев-Посад: Российская пиротехническая ассоциация, 2014. – 15 с.
5. Шидловский, А. А. Основы пиротехники / А. А. Шидловский. – М.: Машиностроение, 1973. – 320 с.
6. Шидловский, А. А. Пиротехника в народном хозяйстве / А. А. Шидловский, А. И. Сидоров, Н. А. Силин. – М.: Машиностроение, 1978. – 231 с.
7. Металлические горючие гетерогенных конденсированных систем / Н. А. Силин [и др.]. – М.: Машиностроение, 1976. – 320 с.
8. Горение металлизированных гетерогенных конденсированных систем / Н. А. Силин [и др.]. – М.: Машиностроение, 1982. – 232 с.
9. Процессы горения металлизированных конденсированных систем / В. А. Ващенко [и др.]. – Киев: Наукова думка, 2008. – 745 с.
10. Кириченко, О. В. Повышение эффективности пиротехнических нитратосодержащих изделий в условиях их применения / О. В. Кириченко // Вісник Черкаського держ. технолог. ун-ту. – 2009. – № 2. – С. 89–94.
11. Основи пожежної безпеки пиротехнічних нітратовмісних виробів в умовах зовнішніх термовпливів: монографія / О. В. Кириченко, П. С. Пашковський, В. А. Ващенко, Ю. Г. Лега. – Київ: Наукова думка, 2014. – 290 с.
12. Миркин, Л. И. Справочник по рентгеноструктурному анализу поликристаллов / Л. И. Миркин. – М.: Физматгиз, 1961. – 863 с.

Енергетичні системи та обладнання

13. Миркин, Л. И. Рентгеноструктурный контроль машиностроительных материалов : справочник / Л. И. Миркин. – М. : Машиностроение, 1979. – 134 с.
14. Батыров, В. А. Рентгеноструктурный и электронно-зондовый микроанализ / В. А. Батыров. – М. : Металлургия, 1982. – 152 с.

Кириченко О. В., Диброва А. С., Мотричук Р. Б., Барановский О. С., Цыбулин В. В.

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОДЕРЖАНИЯ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОГО
КОНДЕНСАТА В ПРОДУКТАХ СГОРАНИЯ ПИРОТЕХНИЧЕСКИХ НИТРАТНО-
МЕТАЛЛИЧЕСКИХ СМЕСЕЙ ПРИ ПОВЫШЕННЫХ ДАВЛЕНИЯХ**

Для предотвращения пожароопасных разрушений пиротехнических изделий при их хранении, транспортировании и применении с учетом влияния внешних термовоздействий практическое значение имеет разработка методов упреждения возгорания зарядов пиротехнических смесей, базирующихся на научно-обоснованных исследованиях основных характеристик процесса возникновения и развития горения смесей. Целью данной работы является экспериментальное исследование зависимостей состава и содержания высокотемпературного конденсата в продуктах сгорания трехкомпонентных пиротехнических смесей от соотношения компонентов в исходной смеси и давления окружающей среды. В качестве компонентов нитратно-металлических пиротехнических смесей использовались порошки металлических горючих (алюминия, магния, циркония), нитратосодержащего окислителя (нитрата натрия) и добавок органических веществ (парафина, стеарина, нафталина, антрацена), которые выпускаются промышленностью, а уплотненные из них образцы изготавливались по технологии, принятой в пиротехническом производстве. Для получения конденсированных продуктов сгорания смесей при повышенных внешних давлениях (до 10^7 Па) использовалась специально разработанная испытательная установка. Для исследования фазового состава полученных конденсированных продуктов сгорания смесей использовались современные методы рентгеноструктурного анализа. Представлены результаты экспериментальных исследований влияния повышенных внешних давлений (до 10^7 Па) для диапазонов изменения соотношения компонентов, в пределах которых наблюдается устойчивое невзрывоопасное развитие горения смесей, на состав и содержание высокотемпературного конденсата в их продуктах сгорания.

Ключевые слова: пожарная безопасность, пиротехническая смесь, продукты сгорания.

Kirichenko O., Dybrova O., Motrychuk R., Baranovsky O., Tsybulin V.

**DEFINITION OF CONTENT OF HIGH-TEMPERATURE CONDENSATE
IN THE COMBUSTION PRODUCTS OF THE PYROTECHNIC NITRATE-
METAL MIXTURES AT ELEVATED PRESSURES**

To prevent fire destruction of pyrotechnic products during storage, transportation and use of the account of influence of external thermo-influences practical importance is the development of methods for prediction of ignition charges for pyrotechnic mixtures based on scientific research of the main characteristics of the process of initiation and development of combustion mixtures. The aim of this work is experimental investigation of the dependences of the composition and content of high-temperature condensate in the products of combustion of three-component pyrotechnic mixtures from the ratio of the components in the initial mixture and the ambient pressure. As components of nitrate-metal pyrotechnic mixtures, metallic fuel powders (aluminum, magnesium,

Енергетичні системи та обладнання

zirconium), nitrate-containing oxidizing agent (sodium nitrate) and additives of organic substances (paraffin, stearin, naphthalene, anthracene), which are produced by industry, were used, and samples compacted from them were made according to the technology adopted in pyrotechnic production. To obtain condensed combustion products of mixtures at elevated external pressures (up to 10^7 Pa), a specially designed test facility was used. To study the phase composition of the condensed combustion products of the mixtures, modern X-ray diffraction methods were used. Presents results of experimental researches of influence of high external pressures (up to 10^7 Pa) of variation ratio of the components, within which there is a steady development of non-explosive combustion of mixtures on the structure and content of the high temperature condensate in the combustion products.

Keywords: *fire safety, pyrotechnic mixture, the products of combustion.*

Рецензент: проф., д-р техн. наук С.В. Поздєєв

Стаття надійшла 29.10.2018 р.

РАЗРАБОТКА МЕРОПРИЯТИЙ ПО УВЕЛИЧЕНИЮ СРОКА СЛУЖБЫ УСТАНОВЛЕННЫХ КРАНОВЫХ КОЛЕС В 2 РАЗА ЭЛЕКТРОМОСТОВЫХ КРАНОВ ЛПЦ-3000 ДЛЯ СНИЖЕНИЯ ЗАТРАТ ТОиР НА 10 %



Рисунок 3 – Крановое колесо

Проблема: износ крановых колес

Ответственный: Литвинов Алексей 098-736-49-27

В УКРАЇНІ ЗРОСЛИ ВИРОБНИЦТВО, ЕКСПОРТ І СПОЖИВАННЯ МЕТАЛОПРОКАТУ

Виробництво металопрокату в Україні за 9 місяців 2018 року зросло на 3%, експорт - на 4,4%, внутрішнє споживання - на 1%.

Про це повідомляє об'єднання підприємств "Укрметалургпром".



"За 9 місяців 2018 року українськими металургійними підприємствами вироблено 13,83 млн т металопрокату (103% порівняно з аналогічним періодом 2017 року), з яких, за інформацією ДП

«Держаналітінформ», експортовано близько 11,22 млн тонн", - йдеться в повідомленні.

За три квартали 2018 року на внутрішній ринок було поставлено 3,69 млн т металопрокату, з яких 1,078 млн т імпортного. За аналогічний період 2017 року внутрішній ринок спожив 3,654 млн т металопрокату, з них 0,95 млн т імпортного.

Основними експортними ринками української металопродукції за 9 місяців 2018 року, за даними ДП «Держаналітінформ», залишаються країни Європейського Союзу (32,9%), Африки (17,4%), Близького Сходу (11,1%).

<https://www.ukrinform.ua/tag-metalurgia>

В УКРАЇНІ ЗРОСЛО ВИРОБНИЦТВО МЕТАЛУРГІЙНОЇ ПРОДУКЦІЇ

За січень-вересень 2018 року в Україні на 5% зросло виробництво чавуну, на 1% - виробництво сталі, на 3% - виробництво прокату та на 6% - виробництво трубної продукції.

Ця інформація розміщена на сайті об'єднання підприємств "Металургпром".

"Попри втрату частини потужностей на невідконтрольній території, за 9 місяців 2018 року порівняно з аналогічним періодом 2017 року відбулося збільшення виробництва основних видів продукції", - йдеться в повідомленні.

За 9 місяців 2018 року було вироблено 15,3 млн тонн чавуну, 15,77 млн тонн сталі, 13,83 млн тонн прокату, 831 тис. тонн трубної продукції.

Станом на 10 жовтня 2018 року в країні працювало 20 з 21 доменної печі, 8 з 9 мартенівських печей, 14 з 16 конвертерів, 7 з 15 електропечей та всі 14 машин безперервного лиття заготовки.

<https://www.ukrinform.ua/tag-metalurgia>

АМЕРИКАНЦІ СТВОРИЛИ НАЙДОВГОВІЧНІШИЙ СПЛАВ У СВІТІ

Інженери та вчені-матеріалознавці з Національної лабораторії Сандія створили сплав, який є найдовговічнішим з усіх відомих металевих сплавів штучного і природного походження.

Новий сплав, що складається із 10% золота й 90% платини у 100 разів перевершує міцну високоякісну сталь у зносостійкості.

Цікавим є той факт, що сплави золота і платини вже дуже давно не є



чимось новим, але нікому раніше не спадало на думку оцінити довговічність таких матеріалів. Зазвичай матеріалознавці віддають переваги більш міцним і твердим металевим сплавам, які дуже широко використовуються в промисловості. Новий сплав не відрізняється

високою твердістю, однак, він наділений високою теплопровідністю та іншими характеристиками, які дозволяють йому чинити опір руйнівній дії сили тертя.

Цей сплав сам є джерелом твердої змазки, яку, за нормальних умов, можна отримати лише важким і дорогим способом. Під час експериментів з новим сплавом дослідники помітили, що на поверхні матеріалу постійно формується тонка плівка чорного кольору. Матеріал цієї плівки виявився вуглецем зі структурою, близькою до структури алмазу, а утворилася ця плівка, яка грає роль ефективної твердої змазки, за рахунок вуглецю, що надходить з навколишнього середовища. Наявність твердої вуглецевої змазки збільшує довговічність нового сплаву в багато разів. Більш того, тепер цей сплав можна використовувати саме для її виробництва, яке зазвичай проводиться за допомогою досить дорогого процесу, що залучає використання герметичних вакуумних камер, високотемпературного нагріву і специфічних хімічних реактивів.

Спочатку склад нового сплаву був розроблений за допомогою складного комп'ютерного моделювання. Це моделювання проводилося на атомарному рівні, що дозволило з'ясувати, як стан і поведінка окремих атомів відбивається на кінцевих властивостях матеріалу в цілому. Такий підхід дозволить в майбутньому розробити матеріали, що мають набір заздалегідь заданих властивостей, після чого можна виготовити зразки таких матеріалів і перевірити їх відповідність в умовах реального світу.

Для демонстрації довговічності цього матеріалу фахівці лабораторії Сандія наводять яскравий приклад. Теоретично, якщо у когось вистачить коштів для того, щоб "взути" автомобіль в колеса з нового сплаву, то такі колеса, пройшовши шлях в 1 милю (1.6 кілометра) втратять всього один шар атомів зі своєї поверхні. Іншими словами, ресурсу таких коліс вистачить, щоб обігнути всю земну кулю по екватору близько 500 разів.

<https://www.ukrinform.ua/rubric-technology/2522039-v-americi-stvorili-najdovgovicnisij-splav-u-sviti.html>

В УКРАЇНІ НАБРАЛА ЧИННОСТІ ЗБІЛЬШЕНА СТАВКА ЕКСПОРТНОГО МИТА НА МЕТАЛОБРУХТ

21 червня набрав чинності закон "Про внесення змін до розділу II "Прикінцеві та перехідні положення" Закону України "Про внесення змін до деяких законів України щодо зменшення дефіциту брухту чорних металів на внутрішньому ринку".

Закон був опублікований в офіційному виданні "Голос України" 20 червня на набрав чинності з наступного дня після опублікування.

Закон збільшив тимчасові заходи з підвищення ставки вивізного (експортного) мита на металобрухт з двох до трьох років. А також збільшив ставку з 30 до 42 євро.

Законопроект має на меті стабілізацію роботи українських металургійних підприємств та збереження 25 тис. робочих місць в умовах дефіциту металобрухту в країні через різницю цін на внутрішньому та зовнішньому ринках.

На початку червня 2017 року Рада проголосувала за продовження на два роки дії збільшеного мита на експорт металобрухту.

Натомість, у Міністерстві економічного розвитку та торгівлі заявили, що дія законопроекту №6382 "Про внесення змін до розділу II "Прикінцеві та перехідні положення" Закону України "Про внесення змін до деяких законів України щодо зменшення дефіциту брухту чорних металів на внутрішньому ринку" не суперечить Угоді про асоціацію України з Європейським Союзом.

<https://www.ukrinform.ua/rubric-economy/2484756-v-ukraini-nabrала-cinnosti-zbilsena-stavka-eksportnogo-mita-na-metalobruht.html>

ВИМОГИ ДО ПУБЛІКАЦІЙ

**До відома авторів,
які надсилають статті у міжвузівський тематичний
збірник наукових праць «Наука та виробництво»**

У збірнику публікуються статті за наступними напрямками:

- 1. Машинобудування і зварювальне виробництво.**
- 2. Будівництво та архітектура.**
- 3. Біоінженерія.**
- 4. Металургія.**
- 5. Інформаційні технології.**
- 6. Ремонт та відновлення деталей машин.**
- 7. Матеріалознавство.**
- 8. Транспортні технології.**
- 9. Енергетичні системи та обладнання.**

Усі статті повинні відповідати вимогам Постанови Президії ВАК України №7-05/1 від 15.01.2003. Вартість публікації однієї статті в збірнику становить 100 грн. в разі дотримання авторами таких вимог до оформлення:

- текст статті набирається на комп'ютері в текстовому редакторі MicrosoftWord (шрифт 12-й TimesNewRoman, міжрядковий інтервал 1,0; поля: верхнє і нижнє – по 20 мм, бічні – по 20 мм);

- ілюстративний матеріал монтується в текст. Креслення і графіки виконуються в будь-якому графічному редакторі. Ілюстративний матеріал повинен бути придатний для безпосереднього відтворення розмножувальними пристроями;

- підписи і перелік посилань оформляються відповідно до стандарту ДСТУ ГОСТ 7.1:2006;

- на першій сторінці статті напівжирним шрифтом набираються: код УДК – у лівому верхньому куті; прізвища та ініціали авторів – на один рядок нижче, у правому верхньому куті; назва статті – посередині сторінки (великими літерами);

- анотації додаються трьома мовами (обсяг анотації російською мовою – не менш як 50 слів; для статей не англійською мовою обсяг анотації англійською мовою – не менш як 1800 знаків, включаючи ключові слова; для статей не українською мовою обсяг анотації українською мовою – не менш як 1800 знаків, включаючи ключові слова), першою наводиться анотація на мові статті (відступ зліва і справа по 1 см, курсивом) та ключові слова (від трьох до восьми). Анотації, що надруковані іншими мовами розташовуються у наприкінці статті;

- на останній сторінці статті після переліку посилань у правому нижньому куті курсивом друкується «*Стаття надійшла...*» і проставляється

дата подання статті у редколегію. У лівому нижньому куті друкується «Рецензент: д-р техн. наук ...» і П.І.Б. рецензента;

- кількість ілюстрацій (малюнків) має бути не більше 4-х (як виняток - до 6);

- у бібліографічному списку до статті допускається до 8 джерел;

- малюнки обов'язково повинні бути згруповані. Допускається використання малюнків у форматі JPEG. Малюнки повинні допускати переміщення в тексті і можливість зміни розмірів. Використоване в тексті відскановане зображення повинно мати розмір не менше 300 точок на дюйм;

- просимо уникати використання малюнків і таблиць, розмір яких вимагає альбомної орієнтації сторінки;

- поворот малюнків і таблиць в вертикальну орієнтацію заборонений;

- написи та інші позначення на графіках і малюнках повинні бути чіткими і легко читатися.

Редакція звертається до авторів з проханням при підготовці статей враховувати вимоги, в відповідності з яким, стаття повинна містити такі необхідні елементи, як:

- постановка проблеми в узагальненому вигляді і її зв'язок з важливими науковими чи практичними завданнями;

- аналіз останніх досліджень і публікацій, в яких започатковано розв'язання даної проблеми і на які спираються автори виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячена означена стаття;

- формулювання цілей статті (постановка завдання);

- виклад основного матеріалу дослідження з повним обґрунтуванням отриманих наукових результатів;

- висновки з даного дослідження і перспективи подальшого розвитку даного напрямку.

Увага! Зазначені елементи статті повинні бути виділені відповідними заголовками: **Постановка проблеми; Аналіз останніх досліджень і публікацій; Мета (завдання) дослідження; Основний матеріал дослідження; Висновки.**

Статті подаються в двох примірниках (з яких один повинен бути першим, видрукованим на лазерному принтері) на одному боці аркуша формату А4. До рукопису статті додаються:

- експертний висновок про можливість опублікування у відкритому друці;

- рецензія доктора технічних наук, у якій повинна бути відбита наукова новизна результатів, їх цінність і значимість;

- рекомендація кафедри чи організації, що представляє дану статтю до публікації;

- анотації російською, українською, англійською мовами з ключовими словами;

• відомості про авторів: прізвище, ім'я, по батькові, учений ступінь, звання, місце роботи, посада, адреса, робочий телефон.

Редакція залишає за собою право відправляти статті авторам на доопрацювання в наступних випадках:

- стаття недбало оформлена і не відповідає вимогам редакції, без підписів авторів;

- стаття потребує доопрацювання відповідно до зауважень редактора розділу;

- до статті не додається дозвіл на публікацію від організації, в якій працюють автори.

Перераховані матеріали необхідно надсилати електронною поштою архівом на адресу Radullik@gmail.com. Статті та документи приймаються у форматі Word 2010 (формат **.docx**).

ВИМОГИ ДО ОФОРМЛЕННЯ АРХІВУ

• експертний висновок про можливість опублікування –*файл expert.docx*;

• рецензія доктора технічних наук –*файл recenz.docx*;

• рекомендація кафедри чи організації –*файл recomend.docx*;

• відомості про авторів –*файл sved_avt.docx*;

• анотація українською, англійською та російською мовою –*файл an.docx*;

• текст статті –*файл article.docx*;

Ініціали і прізвища авторів, вчені ступені, назва організації, місто, країна, назва, анотація статті та ключові слова наводяться, **українською, англійською та російською мовами**.

Повністю оформлені статті та додані до них матеріали надсилаються в редакцію збірника на адресу: 87555, Україна, Донецька обл., м. Маріуполь, вул. Університетська, 7, ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет», каф. «Будівництва, технічної експлуатації і реконструкції». Тел. (0629) 44-66-23; 44-66-73; 44-65-49. Приймання статей проводить відповідальний секретар редколегії збірника, канд. техн. наук, ст. викладач кафедри МОЗЧМ **Рассохін Дмитро Олександрович**.

E-mail: Radullik@gmail.com. Тел. +38(096)122-22-74.

Підписано до друку 18.05.2018 р.

Папір тип №2. Умов. друк. ар. 10,69. Тираж 400. Формат 60x84 1/8.
Замовлення №110. Матеріали збірника друкуються мовою оригіналу.

Ціна договірна.

Надруковано у видавничо-поліграфічному центрі ДВНЗ «ПДТУ»
87500, Україна, Донецька обл., м. Маріуполь, вул. Університетська, 7.

Свідоцтво внесення суб'єкта видавничої діяльності

ДК № 3729 від 15.03.2010 р.